ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL IN 0.005 MOLAR HYDROCHLORIC ACID BY *Allium cepa L.*, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees AND *Carthamus tinctorius* Linn. EXTRACT

นางสาวทิพย์ทมล แสงเชื้อก

นางสาวปานทิพย์ เหล่านุญชัย

นางสาวมณฑินี ภักดีพ้นดอน

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL IN 0.005 MOLAR HYDROCHLORIC ACID BY *Allium cepa L.*, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees AND *Carthamus tinctorius* Linn. EXTRACT

MISS TIPKAMON SAENGPHUAK

MISS PARNHATHAI LAONOONCHAI

MISS MONTHINEE PAKDEEPANDON

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ : ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย

Corrosion Inhibition of 304 Stainless steel in 0.005 Molar Hydrochloric Acid by *Allium cepa L.* , *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees and *Carthamus tinctorius* Linn. Extract

ชื่อนักศึกษา	นางสาวทิพย์กมล	แสงเผือก	53050237
	นางสาวปานหทัย	เหล่านุญชัย	53050271
	นางสาวมณฑินี	ภักดีพันดอน	53050308

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ความสามารถการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย
ชื่อนักศึกษา	นางสาวทิพย์กมล แสงเผือก 53050237
	นางสาวปานหทัย เหล่านุญชัย 53050271
	นางสาวมณฑินี ภักดีพันดอน 53050308
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนนั้นส่งผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายทั้งโดยตรงและโดยอ้อม เป็นผลให้สังคมปัจจุบันได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อมและการเลือกใช้สารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยมีกลุ่มนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนจากสารเคมีธรรมชาติ โดยการสกัดจากพืชชนิดต่างๆ การศึกษาและวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 M ที่ 25°C ด้วยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย การทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนประยุกต์ใช้เทคนิคโพลาไรเซชัน (Polarization) โดยไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L ตามลำดับ พร้อมกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะช่วยเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิม และที่ความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกคำฝอย 50 mg/L ให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม

คำสำคัญ : หอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร ดอกคำฝอย เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 การกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Corrosion Inhibition of 304 Stainless steel in 0.005 Molar Hydrochloric Acid by *Allium cepa L.* , *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees and *Carthamus tinctorius* Linn. Extract
Student	Miss Tipkamon Saengphuak Miss Parnhathai Laonoonchai Miss Monthinee Pakdeepandon
Degree	Bachelor of Science
Major	Industrial Chemistry
Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutha Sutthiruangwong

ABSTRACT

At the present, the damage caused by corrosion affect both the economics and safety of life and property. It affected costs both directly and indirectly. As a result, the community gives more attention to the environmental issues and green chemistry. The process that reduces or eliminates the use of hazardous substances becomes more favorable. There are many researchers study the corrosion inhibition of natural chemicals by plant extraction. The goal of this study is to assess the effect of *Allium cepa L.*, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees and *Carthamus tinctorius* Linn. extract over the corrosion behavior of 304 stainless steel in 0.005 M HCl solution at 25°C. The corrosion inhibition were studied at the extract concentration of 10, 30 and 50 mg/L respectively using electrochemical technique for polarization curves. The pitting potential (E_{pit}) was also determined. It was found that when the extract concentrations increase the pitting potentials of 304 stainless steel increase. The safflower extract showed best inhibition efficiency at 50 mg/L considering from the pitting potential.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword : Onion, Andrographis paniculata, Safflower, 304 stainless steel, corrosion

กิตติกรรมประกาศ

หัวข้อโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะความอนุเคราะห์ของบุคลากรหลายฝ่ายที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษาและเสนอแนะให้กับคณะผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี ซึ่งคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณดังนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.นิสากร แซ่วัน สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อมูลในการศึกษาและสกัดสารสกัดจากดอกคำฝอย

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวณีย์ คำพันธ์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทายาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับหลักการเลือกใช้เครื่องมือรวมทั้งคุณสมบัติและองค์ประกอบในฟ้าทะลายโจรและหอมหัวใหญ่

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ การปฏิบัติงาน รวมทั้งคำแนะนำต่างๆตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด และ ดร.ปานไพลิน สีหาราช กรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำ ติชม ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ มาเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและปฏิบัติการ คอยสนับสนุน และให้คำปรึกษามาโดยตลอด เป็นผลให้สามารถทำโครงงานพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขออภัยหากมีข้อผิดพลาดประการใดไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

นางสาวทิพย์กมล แสงเผือก

นางสาวปานหทัย เหล่านุญชัย

นางสาวมณฑินี ภักดีพันดอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการกัดกร่อน	4
2.2 กลไกการกัดกร่อน	4
2.2.1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง	4
2.2.2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยา	5
2.3 ลักษณะของการกัดกร่อน	6
2.3.1. การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ	6
2.3.2. การกัดกร่อนในบริเวณจำเพาะ	7
2.3.2.1 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก	7
2.3.2.2. การสูญเสียส่วนเจือ	7
2.3.2.3. การกัดกร่อนแบบหลุม	7
2.3.2.4. การกัดกร่อนบริเวณซอก	8
2.3.2.5. การกัดกร่อนร่วมกับการกัดเซาะ	8
2.3.2.6. การกัดกร่อนจากการถูครูด	8
2.3.2.7. การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน	8
2.3.2.8. การแตกร้าวจากการกัดกร่อนและความเค้น	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.3.2.9. การล้าจากการกัดกร่อน 9

2.3.2.10. การเปราะตัวจากไฮโดรเจน 9

2.4 โพลาไรเซชันของการกัดกร่อน 9

2.5เหล็กกล้าไร้สนิม 10

2.5.1. สมบัติทั่วไป 10

2.5.2. ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม 11

2.5.3. ผลของธาตุผสม 14

2.5.3.1. คาร์บอน 14

2.5.3.2. โครเมียม 14

2.5.3.3. นิกเกิล 15

2.5.3.4. โมลิบดินัม 15

2.5.3.5. ไทเทเนียม 15

2.5.4. ลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง 15

2.6การป้องกันการกัดกร่อน 15

2.6.1. การเลือกวัสดุ 15

2.6.2. การปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม 16

2.6.3. การใช้สารยับยั้ง 16

2.6.4. การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก 16

2.6.5. การสร้างชั้นป้องกัน 17

2.6.6. การป้องกันการกัดกร่อนจากพืชธรรมชาติ 17

2.6.6.1 พืชที่ใช้ในงานวิจัย 17

2.7งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

2.8 การสกัด 23

2.9เครื่องระเหยแห้ง 23

2.9.1. หลักการ 23

2.9.2. ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเครื่อง 23

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 25

3.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 25

3.2. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ 25

3.3. ขั้นตอนการทดลอง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3.1. การสกัด 25

3.3.1.1. การสกัดสารจากหอมหัวใหญ่ 25

3.3.1.2. การสกัดสารจากฟ้าทะลายโจร 26

3.3.1.3. การสกัดสารจากดอกคำฝอย 26

3.3.2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 26

3.3.2.1. การเตรียมกรดไฮดรอคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ 26

3.3.2.2. การเตรียมสารสกัด 26

3.3.2.3. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง 26

3.3.2.4. การเตรียมขั้วแพลทินัม 27

3.3.3. วิธีการทดสอบการกัดกร่อน 27

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 28

4.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 28

4.1.1. ก่อนขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย 28

4.1.2. หลังขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย 28

4.1.3. หลังทดสอบการกัดกร่อน 29

4.2 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ 30

4.3 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร 34

4.4 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากสารสกัดจากดอกคำฝอย 36

4.5 เปรียบเทียบแนวโน้มของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย 39

4.6 ผลการทดลองวัดค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย 41

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 43

5.1 สรุปผลงานวิจัย 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์	5
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่	30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร	35
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสารสกัดจาก ดอกคำฝอย	37
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบวัดค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์ 6

รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนแบบกัลวานิกของท่อเหล็กที่ต่อกับข้อต่อทองเหลือง 7

รูปที่ 2.3 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์ 7

รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์ 8

รูปที่ 2.5 กัดกร่อนบริเวณขอบเกรน เห็นได้ชัดเจนหลังจากดัดงอชิ้นงาน 8

รูปที่ 2.6 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนและความเค้นของเหล็กสมอยึดผนังอุโมงค์ 9

รูปที่ 2.7 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาไรเซชัน 10

รูปที่ 2.8 หอมหัวใหญ่ 18

รูปที่ 2.9 ฟ้าทะลายโจร 19

รูปที่ 2.10 ดอกคำฝอย 20

รูปที่ 2.11 เครื่องระเหยแห้ง (Evaporator) 23

รูปที่ 4.1 พื้นที่ผิวชิ้นงานก่อนขัดกระดาษทราย กำลังขยาย 100 เท่า 28

รูปที่ 4.2 พื้นที่ผิวชิ้นงานหลังขัดกระดาษทราย กำลังขยาย 100 เท่า 28

รูปที่ 4.3 พื้นที่ผิวชิ้นงานหลังทดสอบการกัดกร่อน 29

รูปที่ 4.4กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 30
ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัด
จากหอมหัวใหญ่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L

รูปที่ 4.5 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ 32

รูปที่ 4.6 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ 33

รูปที่ 4.7กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 34
ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัด
จากฟ้าทะลายโจรความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L

รูปที่ 4.8 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร 36

รูปที่ 4.9กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 36
ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัด
จากดอกคำฝอยความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L

รูปที่ 4.10 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากดอกคำฝอย 38

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) 39
กับความเข้มข้นของสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr})กับความเข้มข้นของสารสกัด 39

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) กับความเข้มข้นของสารสกัด 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

การกัดกร่อนเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท อันเป็นผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์ ท่อ วาล์ว และระบบควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมมักเจอกับปัญหาด้านการกัดกร่อนเป็นปัญหาหลักในอุตสาหกรรมเหล่านี้เนื่องจากก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่าสูง เมื่อเกิดการกัดกร่อนทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา รวมทั้งอาจเกิดการสูญเสียทางอ้อม เช่น การหยุดโรงงาน สูญเสียประสิทธิภาพในการผลิต การปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการออกแบบโครงสร้างเกินความจำเป็น ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อทั้งด้านเศรษฐกิจและความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินจากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นทำให้ผู้ประกอบการต้องศึกษาการกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อนที่ต้องนำมาพิจารณาควบคู่ไปกับการออกแบบและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม รวมถึงการศึกษาสารยับยั้งการกัดกร่อนโดยมีการนำสารประกอบอินทรีย์ อนินทรีย์ มาใช้เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของโลหะ แม้ว่าผลของการทดสอบของสารประกอบเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูง แต่เนื่องจากสารดังกล่าวเป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้องใช้งบประมาณในการจัดซื้อที่สูง จึงมีแนวคิดในการสกัดสารยับยั้งการกัดกร่อนจากธรรมชาติเพื่อลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ลดการใช้สารเคมีต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ที่ปฏิบัติงาน

ในปัจจุบันหลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อมและเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green chemistry) จึงได้มีผู้ที่ศึกษาสารสกัดตามธรรมชาติโดยสกัดจากพืชต่างชนิดกัน เช่น พงศธรและคณะ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุ สารประกอบฟีนอล และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชสมุนไพรบางชนิด [4] และ Søltoft และคณะ ศึกษาสารสกัดจำพวกฟลาโวนอยด์จากหัวหอม [13] พืชส่วนใหญ่ที่ใช้มีราคาถูกและสามารถสกัดเองได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพง

จากปัญหาดังกล่าวนี้ จึงได้มีการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ขึ้น โดยมีการเลือกใช้สารสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิด คือ หอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า หัวหอมใหญ่มี Quercetin และ Kaempferol ฟ้าทะลายโจรมี Andrographolide , 14-deoxy-11,12-didehydroandrographolide และ ดอกคำฝอยมี Safflower yellow และ Carthamin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะผู้จัดทำคาดว่าโครงสร้างของสารดังกล่าวจะสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะได้โดยใช้ส่วนที่มีอิเล็กตรอนคู่อิสระ (lone pair) ไปเกาะที่ผิวของโลหะ จึงได้มีการเลือกใช้พืชทั้งสามชนิดนี้ มาทดลองใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาสมบัติของสารสกัดที่ได้จากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย ที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริก 0.005 โมลาร์

1.2.2. เพื่อศึกษาทฤษฎีทางเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและทดลองใช้สารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอยเพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยวิธีเปรียบเทียบกับการกัดกร่อนที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอยที่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L ตามลำดับ

1.4 วิธีการศึกษา

1.4.1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อน

1.4.2. ศึกษาเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชัน (Potentiodynamic polarization)

1.4.3. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง

1.4.4. สกัดสารจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน

1.4.5. ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล

- ไม่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน
- เติมสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ความเข้มข้นต่างๆ

1.4.6. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป

1.4.7. เขียนรายงานผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน

1.5.2. มีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3. สามารถนำสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย มาใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแทนสารเคมีสังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1. หลักการกัดกร่อน [9]

การกัดกร่อน คือ สาเหตุสำคัญในการเสื่อมสภาพของวัสดุและทำให้วัสดุนั้นมีสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิม การกัดกร่อนอาจหมายถึงการที่โลหะสูญเสียอิเล็กตรอนให้แก่สิ่งแวดล้อม เช่น โลหะเสียอิเล็กตรอนให้กับออกซิเจน หรือเหล็กสูญเสียอิเล็กตรอนให้กับออกซิเจนและเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบออกไซด์ หรือเรียกว่า "สนิมเหล็ก" หรือ "เหล็กออกไซด์" การกัดกร่อนทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร ตลอดจนโครงสร้างและตัววัสดุเอง ปัญหาการกัดกร่อนในโลหะเป็นปัญหาสำคัญทางเศรษฐกิจ เพราะทำให้ต้องเสียงบประมาณค่าใช้จ่ายจำนวนมากเพื่อป้องกันการกัดกร่อนไม่ให้เกิดขึ้น โดยรายได้บางส่วนของโรงงานอุตสาหกรรม ถูกใช้ไปในเรื่องการป้องกันการกัดกร่อนและการซ่อมบำรุง หรือการต้องเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่เสียหายหรือปนเปื้อน อันมีสาเหตุมาจากการกัดกร่อน ตัวอย่างของการกัดกร่อนที่รู้จักกันดี เช่น การเกิดสนิมที่ตัวถังรถยนต์ที่แผงระบายความร้อน และที่ท่อไอเสีย เป็นต้น

2.2. กลไกการกัดกร่อน

การกัดกร่อนมีกลไกที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

2.2.1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง [5]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับโลหะ โลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันที่สามารถรวมกับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมได้ค่อนข้างน้อย การเกิดออกซิเดชันของโลหะดังกล่าวจะเกิดได้ช้ามากที่อุณหภูมิห้อง และจะสามารถเกิดได้เร็วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นการเกิดสะเก็ดที่ผิวของเหล็กกล้าเมื่ออบจนถึงอุณหภูมิร้อนแดง เมื่ออบเหล็กให้ร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเกิดชั้นของสะเก็ดออกไซด์สีดำของ FeO เคลือบที่ผิวนอก ดังสมการที่ 2.1

$$2Fe + O_2 \longrightarrow 2FeO \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

จากสมการที่ 2.1 เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากอะตอมของเหล็กถูกออกซิไดซ์ ในขณะที่อะตอมของออกซิเจนถูกรีดิวซ์ กระบวนการจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากอะตอมเหล็กไปยังอะตอมของออกซิเจน

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{(แอโนด)} \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

$$O_2 + 4e^- \longrightarrow O_2^{2-} \quad \text{(แคโทด)} \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

แอโนด (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) คือกระบวนการที่อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน

แคโทด (ปฏิกิริยารีดักชัน) คือกระบวนการที่อะตอมรับอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้เกิดจากผลของออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่อาจมาจากสารปนเปื้อน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และไอน้ำ ที่เป็นสาเหตุทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง

2.2.2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า[5,10]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เป็นการกัดกร่อนที่เกิดกับโลหะที่อุณหภูมิห้องโดยจะเกิดเมื่อโลหะต่างกันสองชนิดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่างกัน สัมผัสกันทางไฟฟ้า และอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ สารละลายอิเล็กโตรไลต์จะเป็นสารที่ประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ตัวอย่างการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า เหล็กในสารละลายกรดเมื่อจุ่มเหล็กในสารละลายกรดเจือจางหรือกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ผิวพร้อมกับเหล็กที่ละลายออกมาเป็นไอออนของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ที่ละลายได้ดังสมการที่ 2.4

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_{2(g)} \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

จะเห็นได้ว่าไอออนคลอไรด์ไม่ได้เป็นส่วนหลักของปฏิกิริยาเลย ปฏิกิริยาของไอออนอย่างง่ายเป็นดังสมการที่ 2.5

$$Fe + 2H^+ + 2Cl^- \longrightarrow Fe^{2+} + H_{2\,(g)} + 2Cl^- \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

จะเห็นว่าเหล็กเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยา ดังนี้

1. ครึ่งปฏิกิริยาแอโนด (Anodic reaction) $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$
2. ครึ่งปฏิกิริยาแคโทด (Cathodic reaction) $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

ซึ่งปฏิกิริยาแอโนดคือปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กที่เกิดปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นส่วนครึ่งปฏิกิริยาแคโทดเป็นปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนที่เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดควบคู่กันไป กล่าวคือมีการให้และรับอิเล็กตรอนในเวลาเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันที่ผิวโลหะ

ตารางค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน (ตารางที่ 2.1) เป็นตารางแสดงคุณสมบัติการเป็นโลหะเฉื่อย และว่องไว จากการพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ข้อสรุปที่ได้จากตารางมีดังนี้ [1]

1. โลหะเฉื่อย (Noble metal) จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่าโลหะว่องไว (Active metal)

2. โลหะที่มีความต่างศักย์ต่ำกว่าจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่โลหะที่มีค่าความต่างศักย์สูงกว่าในสารละลายได้

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถบอกได้ว่าโลหะจะถูกกัดกร่อนโดยกรดได้หรือไม่ ถ้าโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่า ไฮโดรเจนก็จะไม่ถูกกัดกร่อนในสภาวะกรด (ยกเว้นในกรณีที่มีออกซิเจนอยู่ในสารละลายด้วย)

4. โลหะสองชนิดเมื่อนำมาสัมผัสกันโลหะที่เฉื่อยจะทำหน้าที่เป็นแคโทดและรับอิเล็กตรอน ส่วนโลหะที่ว่องไวจะทำหน้าที่เป็นแอโนดและให้อิเล็กตรอน

5. โลหะสองชนิดเมื่อนำมาสัมผัสกัน ความรุนแรงของปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะทั้งสองชนิด

ตารางที่ 2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ [12]

	Reduction Half-Reaction		E° (V)	
Stronger oxidizing agent	$F_2(g) + 2\,e^-$	$\longrightarrow 2\,F^-(aq)$	2.87	Weaker reducing agent
	$H_2O_2(aq) + 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow 2\,H_2O(l)$	1.78	
	$MnO_4^-(aq) + 8\,H^+(aq) + 5\,e^-$	$\longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4\,H_2O(l)$	1.51	
	$Cl_2(g) + 2\,e^-$	$\longrightarrow 2\,Cl^-(aq)$	1.36	
	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14\,H^+(aq) + 6\,e^-$	$\longrightarrow 2\,Cr^{3+}(aq) + 7\,H_2O(l)$	1.33	
	$O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$	$\longrightarrow 2\,H_2O(l)$	1.23	
	$Br_2(l) + 2\,e^-$	$\longrightarrow 2\,Br^-(aq)$	1.09	
	$Ag^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Ag(s)$	0.80	
	$Fe^{3+}(aq) + e^-$	$\longrightarrow Fe^{2+}(aq)$	0.77	
	$O_2(g) + 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow H_2O_2(aq)$	0.70	
	$I_2(s) + 2\,e^-$	$\longrightarrow 2\,I^-(aq)$	0.54	
	$O_2(g) + 2\,H_2O(l) + 4\,e^-$	$\longrightarrow 4\,OH^-(aq)$	0.40	
	$Cu^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Cu(s)$	0.34	
	$Sn^{4+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Sn^{2+}(aq)$	0.15	
	$2\,H^+(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow H_2(g)$	0	
	$Pb^{2+}(aq) + 2e^-$	$\longrightarrow Pb(s)$	−0.13	
	$Ni^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Ni(s)$	−0.26	
	$Cd^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Cd(s)$	−0.40	
	$Fe^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Fe(s)$	−0.45	
	$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Zn(s)$	−0.76	
	$2\,H_2O(l) + 2\,e^-$	$\longrightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$	−0.83	
	$Al^{3+}(aq) + 3\,e^-$	$\longrightarrow Al(s)$	−1.66	
	$Mg^{2+}(aq) + 2\,e^-$	$\longrightarrow Mg(s)$	−2.37	
	$Na^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Na(s)$	−2.71	
Weaker oxidizing agent	$Li^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Li(s)$	−3.04	Stronger reducing agent

2.3. ลักษณะของการกัดกร่อน [16]

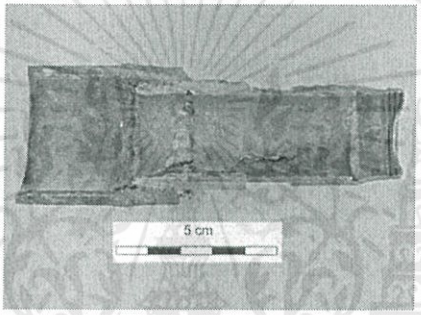
2.3.1. การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) เกิดขึ้นทั่วทั้งผิวหน้าของวัสดุที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมแบบสม่ำเสมอ สามารถประยุกต์ใช้กฎของฟาราเดย์ในการคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนในมิติต่างๆได้ เช่น มวลต่อพื้นที่ต่อเวลา ความลึกของการกัดกร่อนต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์แบบสม่ำเสมอ (ปกติจะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่น)

2.3.2. การกัดกร่อนในบริเวณจำเพาะ (Localized corrosion) เกิดขึ้นเฉพาะในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ไม่เกิดขึ้นทั่วทั้งผิวหน้าของวัสดุ ในบางกรณีอาจจะไม่สามารถสังเกตเห็นการกัดกร่อนแบบนี้ได้ด้วยตาเปล่า ตัวอย่างเช่น

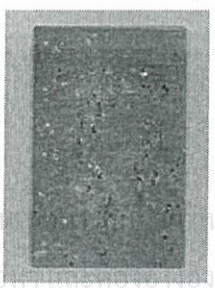
2.3.2.1 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion)การกัดกร่อนแบบนี้เกิดจากการสัมผัสหรือเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่มีศักย์ไฟฟ้ารีดักชันต่างกันและอยู่ในสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันต่ำกว่ามีแนวโน้มที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า และเกิดการกัดกร่อนกับโลหะนั้นอย่างรุนแรงที่บริเวณรอยต่อของการสัมผัส นอกจากนี้ในบางกรณี แม้ว่าจะมีโลหะเพียงชนิดเดียวแต่ถ้าปลายทั้งสองด้านของโลหะนั้นอยู่ในสภาวะที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์ต่างกัน ก็สามารถเอื้อให้เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกได้



รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนแบบกัลวานิกของท่อเหล็กที่ต่อกับข้อต่อทองเหลือง

2.3.2.2. การสูญเสียส่วนเจือ (Dealloying) ตัวอย่างที่คลาสสิกที่สุดของการกัดกร่อนแบบนี้คือการสูญเสียสังกะสีของทองเหลือง ซึ่งนอกจากจะทำให้ทองเหลืองมีสีแดงเข้มมากขึ้นตามสัดส่วนเชิงมวลของทองแดงที่เพิ่มขึ้นแล้ว ทองเหลืองยังจะสูญเสียความแข็งแรงด้วย เนื่องจากโครงสร้างโดยรวมจะมีความพรุนมากขึ้น

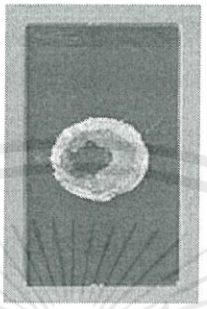
2.3.2.3. การกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion)การกัดกร่อนแบบนี้มักจะเกิดกับโลหะที่มีความสามารถในการสร้างชั้นป้องกันได้ (Passivation) หลุมที่เกิดขึ้นมีได้หลายลักษณะ เช่น หลุมแบบปากกว้าง หลุมแบบรูเข็ม หลุมแบบปากแคบแต่ด้านในกลวง ในเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีการประมาณค่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (PREN, pitting resistance equivalent number) เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุได้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์ (ปกติจะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่น) แบบหลุม

2.3.2.4. การกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice corrosion) จะเกิดขึ้นในบริเวณที่การถ่ายเทของเหลวทำได้ไม่ดีนัก ด้านในและด้านนอกของซอกจะส่งผลให้การแพร่ของสารเคมีบางชนิด เช่น ออกซิเจน ทำได้ยาก ซึ่งจะทำให้ด้านในและด้านนอกมีความสามารถในการออกซิไดซ์ที่ต่างกัน และนำไปสู่การกัดกร่อนเฉพาะบริเวนด้านในซอก นอกจากนี้ค่า pH ด้านในซอกอาจจะลดลงได้ถึง 1 หรือ 0 ในขณะที่ค่า pH ด้านนอกคงที่ที่ 7

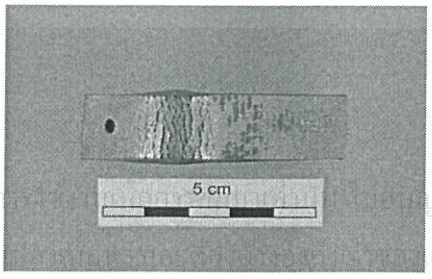


รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซุปเปอร์ออสเตไนท์ (ปกติจะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่น) แบบบริเวณซอก

2.3.2.5. การกัดกร่อนร่วมกับการกัดเซาะ (Erosion corrosion) การกัดกร่อนของโลหะที่ผิวหน้าจะมีอัตราสูงขึ้นเมื่อมีของไหลไหลผ่านด้วยความเร็วสูงและเกิดกระแสการไหลแบบปั่นป่วน นอกจากนี้ถ้ามีอนุภาคของแข็งปะปนกับของไหล ก็จะยิ่งทำให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าสูงมากขึ้นอีก

2.3.2.6. การกัดกร่อนจากการถูครูด (Fretting corrosion) เกิดจากการสัมผัสกันของพื้นผิวโดยที่มีแรงกระทำและมีการเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอมากกว่าปกติ

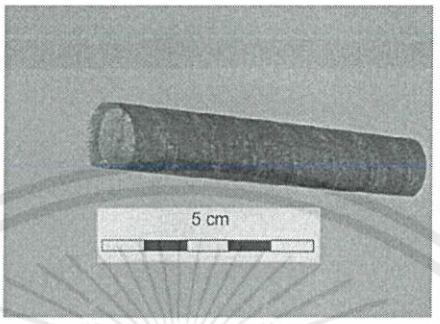
2.3.2.7. การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular corrosion) เมื่อคาร์บอนที่เจืออยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแพร่เข้าจับกับโครเมียม เกิดเป็นสารประกอบ เช่น $Cr_{23}C_6$ และตกตะกอนอยู่ที่ขอบเกรน บริเวณที่อยู่ถัดไปจากขอบเกรนจะมีปริมาณโครเมียมลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลงไปด้วย และเมื่อเหล็กกล้าไร้สนิมสัมผัสกับสารกัดกร่อน บริเวณข้างขอบเกรนจึงถูกกัดกร่อนเป็นอันดับแรกอย่างจำเพาะเจาะจง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 กัดกร่อนบริเวณขอบเกรน เห็นได้ชัดเจนหลังจากดัดงอชิ้นงาน

2.3.2.8. การแตกร้าวจากการกัดกร่อนและความเค้น (Stress corrosion cracking) การกัดกร่อนแบบนี้ต้องอาศัยองค์ประกอบ 3 ส่วนที่พอดีกัน คือ แรงเค้น วัสดุที่อ่อนไหว และสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้าองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งขาดหายไป หรือมีขนาดไม่เพียงพอ จะไม่เกิดการแตกร้าวจากแรงเค้นและการกัดกร่อน



รูปที่ 2.6 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนและความเค้นของเหล็กสมอยึดผนังอุโมงค์

2.3.2.9. การล้าจากการกัดกร่อน (Corrosion fatigue) วัสดุที่ได้รับแรงกระทำแบบวนรอบสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานในสภาพแวดล้อมที่เฉื่อย แต่เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมารับแรงกระทำแบบวนรอบเช่นเดิม โดยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน อายุการใช้งานของวัสดุดังกล่าวจะสั้นลงอย่างเห็นได้ชัด

2.3.2.10. การเปราะตัวจากไฮโดรเจน หรือ การแตกร้าวจากไฮโดรเจน (Hydrogen embrittlement or Hydrogen-assisted cracking) การกัดกร่อนแบบนี้เกิดจากอะตอมไฮโดรเจนที่แพร่เข้าไปในเนื้อโลหะซึ่งจะลดความเหนียวและความแข็งแรงของโลหะลง นอกจากนี้เมื่อมีการรวมตัวกันของอะตอมไฮโดรเจนภายในเนื้อโลหะ จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่มีแรงดันสูงซึ่งสามารถสร้างรอยแตกหรือรอยระเบิดออกได้ในที่สุด

2.4. โพลาไรเซชันของการกัดกร่อน (corrosion of polarization) [7]

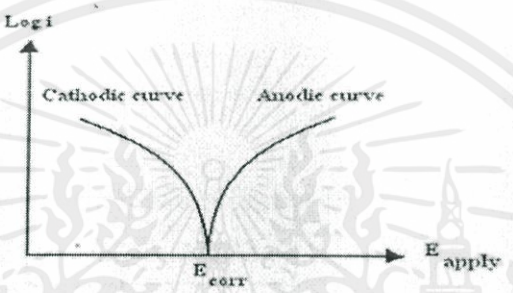
การกัดกร่อนเมื่อเริ่มเกิดจะดำเนินไปชั่วระยะเวลาหนึ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ จะมารอที่ผิวโลหะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะเป็นค่าลบมากขึ้น นั่นคือ รอยต่อระหว่างโลหะกับสารละลายจะมีอิเล็กตรอนมาอยู่มากเกินพอเพื่อรอให้เกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนหรือรีดักชันที่ขั้วแคโทด ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนเกิดไม่รวดเร็วเพียงพอ อิเล็กตรอนที่มากเกินที่บริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสารละลายนี้มีผลให้การกัดกร่อนลดลงได้ เรียกว่า แคโทดิกโพลาไรเซชัน (Cathodic polarization) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นลบมากขึ้นอีกกรณีคือ โลหะเกิดการกัดกร่อนให้อิเล็กตรอนไปที่รอบๆ ผิวโลหะกับสารละลายน้อยหรือไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้ศักดิ์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นบวกมากขึ้นเรียกว่า แอโนดิกโพลาไรเซชัน (Anodic polarization) จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตรากัดกร่อน เนื่องจากการให้และรับอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ไม่สัมพันธ์กันนั่นเอง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะที่สัมผัสกับสารละลายที่มีค่าเป็นบวกมากกว่าจะมีแนวโน้มที่เกิดจากการกัดกร่อนได้ง่ายและเร็วกว่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากโลหะและสารละลาย

ดังนั้นแคโทดิกโพลาไรเซชัน คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด

ส่วนแอโนดิกโพลาไรเซชัน คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาไรเซชันจะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.7 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาไรเซชัน

2.5. เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) [2,3,6]

2.5.1. สมบัติทั่วไป (General properties)

เหล็กทั่วๆไปจะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายและการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ระหว่างเหล็กกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดชั้นฟิล์มออกไซด์ (Oxide film) เคลือบบนผิวโลหะ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะทำให้เหล็กผุกร่อนหรือที่เรียกกันว่า สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมจะผสมโครเมียมในปริมาณสูงและจะต้องไม่ต่ำกว่า 10.5 % ซึ่งจะทำให้สมบัติของชั้นฟิล์มออกไซด์เปลี่ยนแปลงไปเป็นชั้นผิวเคลือบที่สามารถป้องกันการกัดกร่อน (Passive layer) โดยชั้นผิวเคลือบนี้จะมีความบางมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและจะเกาะติดแน่นและทึบจนเปรียบเหมือนเกราะป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านหรือผ่านได้น้อยลง จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical reaction) จะเกิดยากขึ้น ดังนั้นเหล็กจึงมีสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีขึ้นหรือไม่เกิดการกัดกร่อนเลยแม้จะอยู่ในสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง นอกจากนี้ยังมีการผสมนิกเกิล ไทเทเนียม ไนโอเบียม และธาตุอื่นเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2. ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม (Type of stainless steel) [3,6]

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถจำแนกเป็นประเภทได้มากกว่า 150 ประเภท ซึ่งจะถูกผลิตออกมาเป็นแผ่น แท่ง ท่อ และเส้น เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องมือ เครื่องใช้ อุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันไปจนถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์ งานก่อสร้าง งานวิศวกรรมยานยนต์ ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recyclable) ได้ 100% และมีการนำกลับมาใช้ใหม่มากถึง 60%

การแยกประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยอาศัยลักษณะความแตกต่างของโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกเป็นเหล็กที่มีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรด์และเป็นเหล็กที่มีโครเมียมผสมอยู่ระหว่าง 15-16%

1.1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจะผสมโครเมียม 15-18% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.12% โครงสร้างจะเป็นเฟอร์ไรต์และไม่สามารถทำการอบชุบ (Heat treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ การที่กำหนดปริมาณคาร์บอนไว้ไม่เกิน 0.12% เพราะไม่ต้องการให้เกิดการรวมตัวระหว่างคาร์บอนกับโครเมียมหรือที่เรียกว่า โครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งจะไปทำให้สมบัติการต้านทานการกัดกร่อนลดลง ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้เฟอร์ไรต์อย่างสมบูรณ์จึงต้องเผาเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ1000 องศาเซลเซียส เพื่อให้โครเมียมคาร์ไบด์ที่มีอยู่สลายตัวจนหมด จากนั้นทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Quench) ในน้ำ

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่วๆไป ยกเว้นในน้ำทะเลและในบรรยากาศอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น กรด

- สามารถทนกรดไนตริกได้ทุกความเข้มข้นจนถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส
- สามารถทนกรดฟอสฟอริกได้เฉพาะกรดเจือจางและที่อุณหภูมิต่ำ
- สามารถทนกรดซิตริกได้ทุกความเข้มข้นจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำอ่างล้าง (Sink) ในห้องครัว มีด ช้อนส้อม และชิ้นงานประเภทตกแต่ง เพราะเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจัดเป็นเหล็กราคาถูกเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อน เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อนจะผสมโครเมียมสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำ คือ มี

ปริมาณโครเมียมประมาณ 25-30% และมีปริมาณคาร์บอน 0.3% โครงสร้างจะมีเฟอร์ไรต์เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) และมีโครเมียมคาร์ไบด์ตกผลึกอยู่ทั่วๆไป

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อนจะสามารถทนความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิสูงเกิน 1000 องศาเซลเซียส หรืออาจจะถึง 1300 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับปริมาณของโครเมียม แต่เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมที่สูงในขณะใช้งานที่อุณหภูมิ 550-750 องศาเซลเซียส จะทำให้เหล็กชนิดนี้มีสมบัติเปราะและความเหนียวลดลง ดังนั้นในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงจึงจำเป็นต้องไม่ให้รับแรงมากๆ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มีการใช้งานไม่กว้างขวางเท่าที่ควร

การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำส่วนประกอบของเตา เช่น ส่วนต่างๆ ที่ใช้ยึดเตา ตะกรับเตา ทำท่อสำหรับก๊าซร้อน โดยเฉพาะสามารถทนต่อก๊าซ SO_2และ SO_3

2. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกเป็นเหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งจะทำให้มีสมบัติทั้งความแข็งแรงและการต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีขึ้น

2.1. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำจะผสมโครเมียม 12-14% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.15% เมื่อนำเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิ 1000องศาเซลเซียส แล้วนำมาชุบน้ำมันจะได้เหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์

การใช้งานจะใช้กับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ทนแรงสูงและสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เช่น เพลาและพวกใบมีดสำหรับบดเนื้อ

2.2. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนปานกลางจะผสมโครเมียม 13-15% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน0.2-0.4% เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการชุบแข็ง (Hardenability) จะได้เหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ที่แข็ง โดยการชุบแข็งจะต้องเผาที่อุณหภมิ 1000-1100 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้โครเมียมคาร์ไบด์ที่มีอยู่สลายตัวจนหมดและได้ออสเทนไนต์ที่สม่ำเสมอ จากนั้นจึงนำมาชุบในน้ำก็จะได้โครงสร้างที่เป็นมาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอด้วย

การใช้งานจะใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการผ่าตัดที่โรงพยาบาลและมีดทั่วๆไปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในบางกรณีอาจใช้ทำพวกชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ต้องการสมบัติทั้งความแข็งและความเหนียว

2.3. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนสูง เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนสูงจะผสมโครเมียม 14-16% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.6-1% เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมและคาร์บอนสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาทำการชุบแข็งจึงไม่มีโอกาสที่จะได้มาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอเพราะจะมีโครเมียมคาร์ไบด์ที่ไม่สลายตัว (Nondissolved carbide) เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาจึงไม่สามารถทำให้โครเมียมคาร์ไบด์หมดไปได้โครงสร้างที่เป็นมาร์เทนไซต์ที่แข็งต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเหล็กคาร์บอนธรรมดาเพราะคาร์บอนจำนวนหนึ่งจะไปรวมกับโครเมียมได้โครเมียมคาร์ไบด์ ทำให้ปริมาณคาร์บอนในออสเทนไนต์ลดลง

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนสูงจะมีความสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ลดลงเพราะปริมาณโครเมียมในเหล็กลดลงเนื่องจากไปรวมกับคาร์บอนได้โครเมียมคาร์ไบด์ แต่สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนได้โดยการผสมไทเทเนียมหรือไนโอเบียมลงไปเล็กน้อยเพื่อไม่ให้โครเมียมรวมตัวกับคาร์บอน

การใช้งานจะเหมาะสำหรับอุปกรณ์ตัดเช่นเดียวกับเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนปานกลาง ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนสูงจะมีความแข็งแรงสูงกว่าและทนทานต่อการใช้งานมากกว่า แต่จะมีข้อเสีย คือ เปราะแตกหักได้ง่ายกว่าและการชุบแข็งจะต้องทำการอบคืนตัว (Tempering) เสมอ

2.4. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูง เหล็กกล้าไร้-สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูงจะผสมโครเมียม 15-20% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.15% เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดพิเศษที่ปรับปรุงมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์-เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำ เพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านการต้านต่อการกัดกร่อนให้ดีขึ้นโดยการผสมนิกเกิล 2-4% ซึ่งทำให้สามารถเผาที่อุณหภูมิ 950-1000 องศาเซลเซียส จะได้ออสเทนไนต์ 100% เพราะนิกเกิลจะช่วยทำให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพมากขึ้น

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูงจะสามารถทนความร้อนสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ได้โดยการผสมทังสเตนและโมลิบดินัมลงไปเล็กน้อย

การใช้งานจะเหมาะสำหรับทำชิ้นส่วนจักรกลที่ต้องการความแข็งแรงสูงและต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะในน้ำและในน้ำทะเลจะสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก

3. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะผสมโครเมียม 14-30% นิกเกิล 8-35% และมีปริมาณคาร์บอนต่ำจนถึง 0.03% นอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุอื่นๆ ลงไปอีก เช่น ไทเทเนียม ไนโอเบียม เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านอื่นๆ ให้ดีขึ้น การอบชุบด้วยความร้อนโดยการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศา-เซลเซียส แล้วทำให้เย็นโดยการชุบน้ำจะได้โครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ แต่ในการชุบแข็งอาจจะได้โครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ได้โดยการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะมีความแข็งแรง ความเหนียวสูง สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี และที่อุณหภูมิห้องอัตราการแพร่ซึม (Diffusion) มีน้อยมากทำให้ออสเทนไนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกสามารถทำได้ เช่น การเพิ่มความแข็งโดยอาศัยความเครียด (Strain hardening) ภายหลังจากการอบชุบทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นออสเทนไนต์ 100% จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปเย็น (Cold work) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก

ออสเทนไนต์ 100% เป็นออสเทนไนต์ที่มีมาร์เทนไซต์ผสมอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยการตกผลึก (Precipitation hardening) แต่จะได้ความเค้นแรงดึงไม่สูงเพราะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเหล็ก

การแบ่งประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกทำได้ยาก เนื่องจากเป็นเหล็กที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมมากและผลิตออกสู่ตลาดมากมายหลายชนิด อีกทั้งยังมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน โดยอาจจะแบ่งประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกตามการใช้งานได้ดังนี้

- เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกประเภทที่ต้องการสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงๆ

โดยเฉพาะสำหรับใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่จะผสมโครเมียมและนิกเกิลปริมาณสูง นอกจากนี้จะผสมธาตุอื่นๆที่ช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อน เช่น โมลิบดินัม ทองแดง

- เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกประเภทที่ต้องการสมบัติทางด้านความเหนียว

โดยเฉพาะในงานแปรรูปชนิดดึงขึ้นรูป (Deep drawing) เช่น อ่างล้าง ภาชนะ และอื่นๆ ส่วนใหญ่จะผสมนิกเกิลสูง

2.5.3. ผลของธาตุผสม (Effect of alloy elements)

2.5.3.1. คาร์บอน (Carbon) คาร์บอน (C) เป็นธาตุที่มีอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปจะไม่เกิน 0.15% (ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก) เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีคาร์บอนต่ำจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน(Intergranular corrosion) เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อมโดยเหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมคาร์บอนอยู่ 2 ช่วง คือ 0.2%(น้อยกว่า 0.03%) และ 0.07% (0.04-0.15%) นอกจากนี้การผสมไทเทเนียมหรือไนโอเบียมลงไปในเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยให้จับตัวกับคาร์บอนแทนโครเมียมและยังส่งผลดีต่อสมบัติทั้งสามข้อที่กล่าวมา เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีอักษร “L” ปรากฏในเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมจะควบคุมคาร์บอนไม่ให้มีปริมาณไม่เกิน 0.03% ทำให้สามารถนำไปเชื่อมได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน และความสามารถในการขึ้นรูปเย็นสูงกว่าเกรดที่มีคาร์บอนสูงกว่า

2.5.3.2. โครเมียม (Chromium) โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไป โดยผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างน้อย 10.5% แต่มักผสมโครเมียมมากกว่า 10.5% เล็กน้อยเพื่อให้มั่นใจว่าเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมมีการกระจายของโครเมียมอย่างสม่ำเสมอ เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโครเมียมอยู่ 2 ช่วง คือ 12% (10.5-14.0%) และ 17% (16.0-24.0%) ถ้าผสมโครเมียมเกินกว่า 30% จะทำให้เหล็กเปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3. นิกเกิล (Nickel) นิกเกิล (Ni) เป็นธาตุที่ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนบริเวณซอกในสารละลายกรด เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมนิกเกิลอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยที่ติดมากับเหล็ก) และ 9% (6.0-15.0%)

2.5.3.4. โมลิบดินัม (Molybdenum) โมลิบดินัม (Mo) เป็นธาตุที่ช่วยเสริมผลของโครเมียมในการต้านทานต่อการกัดกร่อนโดยเฉพาะการกัดกร่อนบริเวณซอกและช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพที่มีคลอไรด์ เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโมลิบดินัมอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยที่ติดมากับเหล็ก) และ 2% (1.0-3.0%)

2.5.3.5. ไทเทเนียม (Titanium) หรือไนโอเบียม (Niobium) ไทเทเนียม (Ti) หรือไนโอเบียม (Nb) เป็นธาตุที่ช่วยปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบขอบเกรน (Intergranular corrosion) โดยธาตุทั้งสองตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อมอีกด้วย

2.5.4. ลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง

เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นเหล็กกล้าไร้-สนิมออสเทนนิติกที่มีปริมาณโครเมียม 18% และนิกเกิล 8% ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดเพราะมีความสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ด้านสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ปานกลาง แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงจึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดีมาก

2.6. การป้องกันการกัดกร่อน[9]

การกัดกร่อนมีอยู่มากมายหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้ ได้แก่ การเลือกวัสดุการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมการออกแบบการเคลือบผิว และการป้องกันแบบแคโทดิก การจะเลือกใช้วิธีการป้องกันการกัดกร่อนวิธีใด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งจะแตกต่างกันไป

2.6.1. การเลือกวัสดุ (Material selection)

วิธีการทั่วไปที่ง่ายที่สุดสำหรับการป้องกันการกัดกร่อนก็คือ การเลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ต้องใช้งาน ปัจจัยสำคัญในการเลือกวัสดุคือราคาของวัสดุและความยากง่ายในการจัดหาวัสดุ โดยส่วนใหญ่วัสดุที่มีสมบัติต้านทานการกัด-กร่อนสูง มักจะมีราคาสูง ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อนที่เหมาะสมได้ ในบางครั้งอาจต้องเลือกใช้โลหะผสมชนิดอื่นที่มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนพอประมาณและใช้วิธีการป้องกันการกัดกร่อนวิธีอื่นร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

2.6.2. การปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม (Alteration of environment)

การเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของวัสดุจะส่งผลต่อการกัดกร่อนอย่างชัดเจน โดยทั่วไปการลดอุณหภูมิหรือลดอัตราเร็วของการไหลของสารละลายลง จะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลงด้วย ในบางกรณีการลดหรือการเพิ่มความเข้มข้นของส่วนผสมในสารละลายจะมีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะ เช่น โลหะอาจสร้างชั้นป้องกันขึ้นมาได้

2.6.3. การใช้สารยับยั้ง

สารยับยั้ง (Inhibitor) คือ สารประกอบที่ใช้ลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะในสภาพแวดล้อมหนึ่งๆ โดยการใช้สารยับยั้งในปริมาณค่อนข้างน้อยผสมอยู่ร่วมกันกับสภาพแวดล้อม การเลือกใช้สารยับยั้งชนิดใดจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและลักษณะของสภาพแวดล้อม กลไกในการป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดจากการเติมสารยับยั้งมีอยู่หลายแบบ สารยับยั้งบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับสารกัดกร่อนอย่างเช่นออกซิเจน และลดผลการกัดกร่อนของสารนั้น โมเลกุลของสารยับยั้งบางชนิดในสารละลายกัดกร่อนจะจับกับอะตอมหรือไอออนบนผิววัสดุที่เกิดการกัดกร่อน และสร้างความไม่เสถียรให้เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือสร้างฟิล์มเคลือบบางๆที่สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ โดยส่วนใหญ่จะใช้สารยับยั้งในสภาพแวดล้อมที่เป็นระบบปิด เช่น ในแผงระบายความร้อนรถยนต์และหม้อต้มไอน้ำ

2.6.4. การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก

วิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่งก็คือการป้องกันแบบแคโทดิก ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับการกัดกร่อนได้หลากหลายประเภทดังที่กล่าวมาแล้ว และในบางกรณีอาจสามารถหยุดการกัดกร่อนได้อย่างสมบูรณ์ การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิกใช้หลักการของการให้อิเล็กตรอนจากแหล่งภายนอกแก่โลหะที่ต้องการป้องกัน ทำให้โลหะนั้นเปลี่ยนสภาพเป็นแคโทด โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเปลี่ยนเป็นปฏิกิริยารีดักชันแทน

วิธีการป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิกอีกวิธีหนึ่งก็คือ การจับคู่โลหะแบบกัลวานิก โลหะที่ต้องการป้องกันจะถูกเชื่อมต่อด้วยวงจรไฟฟ้ากับโลหะอีกชนิดหนึ่งที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนแทนซึ่งจะเป็นโลหะที่เกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าหรือมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนมากกว่าในสภาพแวดล้อมที่ใช้งานนั้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะที่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนจะให้อิเล็กตรอนแก่โลหะที่ต้องการปกป้องจากการกัดกร่อน โดยส่วนใหญ่มักใช้โลหะแมกนีเซียมและสังกะสีเป็นโลหะที่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนแทน เพราะจัดอยู่ในฝั่งที่เป็นแอโนดในอนุกรมกัลวานิก การป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้หลักกัลวานิกนี้ มักนิยมใช้กับโครงสร้างที่ต้องฝังอยู่ใต้พื้นดิน เช่น เครื่องทำความร้อน ถังและท่อที่ฝังอยู่ในดินและอุปกรณ์ใต้ทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเคลือบผิวด้วยสังกะสี (Galvanizing) ก็เป็นวิธีการง่ายๆ ที่นิยมใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน โดยจะใช้สังกะสีเคลือบบนผิวโลหะเพื่อให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวเคลือบนี้

แทน การเคลือบผิวโลหะด้วยสังกะสีสามารถทำได้ด้วยวิธีจุ่มร้อน (Hot dipping) สังกะสีจะถูกกัดกร่อนและโลหะที่ถูกเคลือบผิวจะไม่เกิดการกัดกร่อนซึ่งเป็นไปตามหลักกัลวานิก ถ้าผิวเคลือบบางส่วนถูกทำลาย การกัดกร่อนของชั้นเคลือบสังกะสีจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวแอโนดต่อแคโทดมีค่ามาก

สำหรับการป้องกันแบบแคโทดด้วยวิธีการอื่น แหล่งจ่ายอิเล็กตรอนอาจมาจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงจากภายนอก สำหรับการป้องกันถังโลหะที่ฝังอยู่ใต้ดิน ขั้วลบของแหล่งจ่ายกระแสไฟจะต้องต่อเข้ากับโลหะที่ต้องการป้องกันการกัดกร่อน และขั้วบวกจะต้องต่อเข้ากับแอโนดที่มีสภาพเฉื่อยที่อยู่ใต้ดิน โดยส่วนใหญ่มักใช้แท่งแกรไฟต์เป็นวัสดุแอโนด บริเวณรอบแอโนดและแคโทดจะต้องมีวัสดุที่มีสมบัตินำไฟฟ้าที่ดี เพื่อช่วยการนำไฟฟ้าระหว่างแอโนดและเนื้อดินที่อยู่รอบๆ ทางเดินกระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้น และจะครบรอบของวงจรไฟฟ้าระหว่างแคโทดและแอโนดผ่านเนื้อดินและวัสดุรอบๆ

2.6.5. การสร้างชั้นป้องกัน

การสร้างฟิล์มออกไซด์เพื่อป้องกันโลหะจากการกัดกร่อนเป็นหนึ่งในวิธีป้องกันการกัด-กร่อนที่นิยมปฏิบัติกัน ฟิล์มออกไซด์ที่ป้องกันโลหะได้นั้นจะต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อปริมาตรของเนื้อโลหะที่ใช้ไปในการเกิดออกซิเดชันควรจะใกล้เคียงกับ 1 เพื่อลดความเค้นตกค้างบริเวณผิวโลหะ
- ฟิล์มออกไซด์จะต้องยึดติดกับผิวโลหะได้ดี ไม่หลุดล่อนง่าย
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของฟิล์มออกไซด์และโลหะควรมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อลดปริมาณความเค้นตกค้างเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลง
- ฟิล์มออกไซด์ควรนำไฟฟ้าได้น้อยและไอออนของโลหะและออกซิเจนควรจะแพร่ได้ช้า เพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชัน
- ฟิล์มออกไซด์ควรจะมีจุดหลอมเหลวสูง, มีความดันไอต่ำ และ สามารถเปลี่ยนรูปอย่างถาวรได้ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้มีเสถียรภาพที่ดี

2.6.6. การป้องกันการกัดกร่อนจากพืชธรรมชาติ

2.6.6.1 พืชที่ใช้ในงานวิจัย

1. หอมหัวใหญ่[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 หอมหัวใหญ่

หอมหัวใหญ่เป็นพืชตระกูลเดียวกับหอมแดง มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Allium cepa L.*ถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียกลาง เป็นพืชล้มลุก สูงประมาณ 30-40 ซม. ลำต้นเป็นหัวอยู่ใต้ดิน ลักษณะกลมป้อม มีเปลือกนอกบางหุ้มอยู่ เมื่อแห้งจะมีสีน้ำตาล ภายในเป็นกลาบสีขาวซ้อนกัน ดอกสีขาวหรือสีม่วงอ่อน ออกเป็นช่อกลม มีดอกย่อยเป็นจำนวนมาก ก้านช่อดอกยาวแทงออกจากลำต้นใต้ดิน หอมหัวใหญ่ให้ผลผลิต 2 ครั้งใน 1 ปี คือช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน และช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์

1.1. สารสำคัญในหอมหัวใหญ่

- Quercetin
- Kaempferol
- Beta-carotene

1.2. ประโยชน์ของหอมหัวใหญ่ [18]

1.2.1. ช่วยลดอาการกระตุกของกล้ามเนื้อ

1.2.2. มีฤทธิ์มากในการขับสารพิษทั้งที่เป็นโลหะหนักและพยาธิ

1.2.3. รักษาโรคต่างๆในร่างกายดังนี้

- โคเลสเตอรอลและความดันเลือดสูง หอมหัวใหญ่มีผลคล้ายกระเทียมในการลดโคเลสเตอรอลและความดันเลือด มีสารไซโคลอัลลิอิน ที่สามารถละลายลิ่มเลือดได้

- ภูมิแพ้และหอบหืด หอมหัวใหญ่มีความสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสและไซโคลออกซีจีเนส ซึ่งสร้างสารพรอสตาแกลนดินและทรอมบอกเซนซึ่งเป็นสารก่อการอักเสบ เมื่อให้หนูตะเภากินสารสกัดแอลกอฮอล์ของหอมหัวใหญ่ 1 มิลลิลิตร พบว่าสามารถลดอาการหืดหอบจากการหดลองสูดดมสารก่อภูมิแพ้ได้ หอมหัวใหญ่มีเควอเซทิน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฤทธิ์เชิงเภสัชวิทยาของมัน พบว่าเควอเซทินสามารถยับยั้งการปล่อยฮิสตามีนจากมาสต์เซลล์ และยับยั้งการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับภูมิแพ้ เช่นลิวโคทรีนได้ เควอเซทินพบมากที่สุดในผิวชั้นต้นๆ ของหอมหัวใหญ่ และพบมากกว่าในหอมหัวใหญ่สีม่วงและหอมแดงแต่ฤทธิ์ป้องกันอาการหอบหืดและภูมิแพ้คาดว่ามาจากสารกลุ่มไอโซโอไซยาเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เบาหวาน หอมหัวใหญ่แสดงฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด ในผลงานการศึกษาทางการแพทย์และทางคลินิกหลายชิ้นสารออกฤทธิ์ในหอมหัวใหญ่เชื่อว่าเป็นสารอัลลิล-โพรพิลไดซัลไฟด์ (Allyl propy disuldhide หรือ APDS) และ มีฟลาโวนอยด์อื่นร่วมด้วย หลักฐานจากการทดลองและสังเกตในคลินิกพบว่า APDS ลดระดับกลูโคสโดยแข่งกับอินซูลิน (ซึ่งเป็นไดซัลไฟด์เช่นกัน) ในการเข้าสู่จุดยับยั้งการทำงานโดยอินซูลิน (Insulin-inactivating sites) ในตับ ทำให้มีอินซูลินอิสระเพิ่มขึ้น การกินหอมหัวใหญ่ 1-7 ออนซ์ (16 ออนซ์ประมาณครึ่งกิโลกรัม) มีผลลดปริมาณน้ำตาลในเลือดผลนี้พบทั้งในหอมหัวใหญ่ทั้งดิบและที่ต้มแล้ว

2. ฟ้าทะลายโจร[19]

รูปที่ 2.9 ฟ้าทะลายโจร

ฟ้าทะลายโจรมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees อยู่ในวงศ์ Acanthaceae สามารถเรียกได้หลายชื่อ เช่น ฟ้าทะลาย หญ้ากันงู น้ำลายพังพอน สามสิบดี เป็นต้น เป็นพืชล้มลุก สูง 30-60 ซม. ทั้งต้นมีรสขม ลำต้นเป็นสี่เหลี่ยม แตกกิ่งเป็นพุ่มเล็ก ใบเดี่ยวเรียงตรงข้าม รูปไข่หรือรูปใบหอก ใบสีเขียวเข้ม เป็นมัน ดอกช่อ ออกที่ปลายกิ่งและซอกใบ ผลเป็นฝักสีเขียวอมน้ำตาล ปลายแหลม เมื่อผลแก่จะแตกเป็นสองซีก ดีดเมล็ดออกมา ใช้เมล็ดขยายพันธุ์

2.1. สาระสำคัญในฟ้าทะลายโจร

- Andrographolide
- Neoandrographolide
- 14-deoxy-11,12-didehydroandrographolide

2.2. ประโยชน์ของฟ้าทะลายโจร

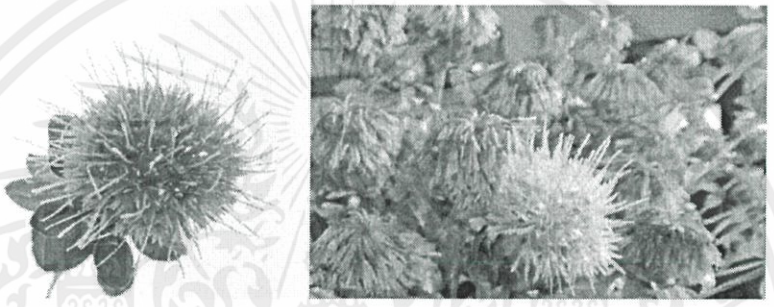
มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด (Husen et al., 2004; Dandu and Inamdar, 2009), ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Sheeja et al., 2006), ฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกันและยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Kumar et.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

al.,2004), ฤทธิ์ป้องกันตับจากสารพิษหลายชนิด เช่น จากยาแก้ไข้พาราเซทตามอล หรือแอลกอฮอลล์ (Visen et al., 1993; Singha et al., 2007)

นอกจากนี้ฟ้าทะลายโจรเป็นยังเป็นยาแผนไทยที่ถูกบรรจุไว้ในบัญชียาหลักแห่งชาติ ตามบัญชียาหลัก ฉบับปี 2549 อีกด้วย ซึ่งสามารถใช้ฟ้าทะลายโจร สำหรับบรรเทาอาการท้องเสียไม่ติดเชื้อ, บรรเทาอาการเจ็บคอและอาการของโรคหวัด (common cold) เช่น เจ็บคอ อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ น้ำมูกไหล เป็นต้น จึงทำให้มีผู้นำ ฟ้าทะลายโจรมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น

3. คำฝอย[20]



รูปที่ 2.10 ดอกคำฝอย

คำฝอยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carthamus tinctorius* Linn. อยู่ในวงศ์ COMPOSITAE เป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นเหลี่ยม ก้านใบยาว ดอกออกรวมกัน ลักษณะดอกคล้ายดอกบานชื่น กลีบดอกมีสีเหลืองเข้ม และจะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีแดง มีกลีบเลี้ยงหรือกลีบประดับเรียงตัวกันเป็นชั้นๆรองรับดอก บริเวณปลายกลีบเลี้ยงมีหนามแหลมคม ลักษณะผลคล้ายรูปไข่มีสีขาว เมล็ดมีลักษณะยาวรี เปลือกแข็งสีขาว เมื่อผลแก่แห้ง เมล็ดจะไม่แตกกระจาย และในเมล็ดดอกคำฝอยมีน้ำมันมาก

3.1.สารสำคัญในดอกคำฝอย

- Safflower yellow
- Carthamin (อยู่ในกลุ่ม Flavonoid)
- Beta-carotene

3.2.ประโยชน์ของดอกคำฝอย

ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งอยู่ในดอกคำฝอยเป็นกลุ่มสารที่ให้สีสันแก่ผักผลไม้ เช่น สีเหลือง แดง น้ำเงิน ฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันการเกิดต้อกระจก ป้องกันการแก่ก่อนวัย ลดอาการอักเสบของเซลล์เยื่อหุ้มสมอง ดังนั้นจึงลดอัตราการเกิดโรคพาร์กินสันและโรคความจำเสื่อม เนื่องจากสาเหตุหลักของทั้ง 2 โรคนี้เกิดจากการอักเสบของเซลล์เยื่อหุ้มสมอง ฟลา-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวนอยด์ทำให้เนื้อเยื่อเซลล์หุ้มสมองที่แข็งอ่อนตัวลงช่วยป้องกันโรคหัวใจ เพราะฟลาโวนอยด์จะไปลดกิจกรรมของเม็ดเลือดที่ทำให้เลือดแข็งตัว และเคลือบหลอดเลือดแดง นอกจากนี้ยังป้องกันการสะสมของไขมัน และยังช่วยเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลชนิดที่ดี (HDL) ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งทำหน้าที่เก็บกวาดทำความสะอาดผนังหลอดเลือดอีกด้วย

นอกจากนี้ดอกคำฝอยยังมีประโยชน์อีกมากมาย เช่น ลดไขมันในเส้นเลือดป้องกันไขมันอุดตันลดความดันโลหิตบำรุงโลหิตบำรุงหัวใจบำรุงประสาทฟอกโลหิตบำรุงสตรีที่ประจำเดือนมาไม่ปกติ ระงับอาการปวดแก้น้ำเหลืองเสียแก้แสบร้อนตามผิวหนังใช้แต่งสีอาหารที่ต้องการให้เป็นสีเหลืองขับเหงื่อ ขับของเสียออกจากร่างกายแก้อาการอักเสบ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียบางชนิดรักษาอาการบวมลดไข้หลังคลอด บรรเทาอาการหวัดคัดจมูกรักษาโรคดีซ่านรักษาโรคไขข้ออักเสบต้านอนุมูลอิสระลดการอักเสบของเซลล์

2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1.พงศธรและคณะได้ทำการวิจัยโดยทำการสกัดสารจากพืชสมุนไพร 7 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย เถาวัลย์เปรียง (*Derrisscandens* (*Roxb.*) *Benth.*) ชุมเห็ดเทศ (*Senna alata* (*L.*) *Roxb.*) หนุมานประสานกาย (*Scheffera leucantha R. Vig.*) หม่อน (*Morus alba L.*) คำฝอย (*Carthamus tinctorius L.*) มะระขี้นก (*Momordica charantia L.*) และชาเขียวญี่ปุ่น (*Camellia sinensis Ktze.*) ด้วยเมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์พบว่า ชาเขียวญี่ปุ่นมีปริมาณรงควัตถุรวม ซึ่งประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอบี และแคโรทีนอยด์ ในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือชุมเห็ดเทศ และหนุมานประสานกาย ในขณะที่สารสกัดจากหม่อนมีปริมาณรงควัตถุรวมน้อยที่สุด นอกจากนั้นยังพบว่า ชาเขียวญี่ปุ่นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือหม่อน เถาวัลย์เปรียง และชุมเห็ดเทศ ส่วนสารสกัดจากคำฝอย และมะระขี้นก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยที่สุด จากการตรวจสอบด้วยวิธี DPPH พบว่าชาเขียวญี่ปุ่น มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9523 แต่กลับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [4]

2.7.2.มีการวิจัยเกี่ยวกับวิธีที่สามารถตรวจหาปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ในหอมหัวใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบด้วยวิธีสกัด 5 วิธีด้วยกันและได้ทำการทดสอบหอมหัวใหญ่โดยการ freeze dried และตรวจวัดโดยใช้เครื่อง HPLC ด้วย UV เพื่อค้นหาจำนวน flavonoid ทั้ง 7 ชนิดและเมื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดทั้ง 5 วิธี คือ Pressurized liquid extraction (PLE) การสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonication)การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave extraction)และการสกัดโดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบธรรมดา (Conventional water bath)พบว่าการสกัดโดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบธรรมดา เป็นวิธีสกัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม PLE ก็เป็นวิธีสกัดที่ถูกให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก เพราะใช้ตัวละลายน้อยสกัดได้บริสุทธิ์ที่สุด และเป็นวิธีที่สามารถหลีกเลี่ยงการเจอแสงและออกซิเจนอันเป็นตัวแปรที่ทำให้ฟวาโวนอยด์ไวต่อการตอบสนอง ด้วยการทดลองภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยเพื่อป้องกันแสง และตัวแปรที่ต้องควบคุมของทุกวิธีในการสกัดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด น้ำหนักของตัวอย่าง และการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม [13]

2.7.3.สุรพจน์ได้ทำการวิจัยโดยวัตถุประสงค์เพื่อการหาวิธีและข้อมูลทางเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการขยายการผลิตสารสกัดฟ้าทะลายโจรเป็นระดับโรงงานต้นแบบ[8] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาที่กระบวนการสกัดและการอบแห้งสารสกัด วัตถุดิบที่ใช้เป็นใบและต้นฟ้าทะลายโจรบดแห้ง และตัวทำละลายที่ใช้เป็นเอทิลแอลกอฮอล์ 85% และ 95% การทดลองในห้องปฏิบัติการแสดงว่าเอทิลแอลกอฮอล์ 85% สามารถสกัดแอนโดรกราโฟไลด์ซึ่งเป็นสารสำคัญหลักจากฟ้าทะลายโจรได้มากกว่าการสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เมื่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 85% เป็น 1:5 และ 1:10 ร้อยละของแอนโดรกราโฟไลด์สามารถถูกสกัดได้เท่ากับ 77 และ 95% ตามลำดับถังกวนขนาด 50 ลิตรที่ใช้ในการสกัดและมีใบกวนแบบพิชด์เบลดเทอร์ไบน์ 45 องศา และมีมุมเพลาจากจุดศูนย์กลางของถังเท่ากับ 15 องศา สามารถให้การกระจายตัวของอนุภาคฟ้าทะลายโจรที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 มิลลิเมตร ได้ดีในเอทิลแอลกอฮอล์ การทดลองสกัดที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 85% และ 95% โดยมีอัตราส่วนวัตถุดิบต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1:5 และ 1:10 และความเร็วของใบกวนอยู่ระหว่าง 560 ถึง 1120 รอบต่อนาที แสดงว่าอัตราเร็วของการสกัดไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของใบกวน และการสกัดถึงจุดสมดุลเมื่อใช้เวลากวน 6 ชั่วโมงสารละลายสกัดถูกทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ระเหยแบบโรตารีจนมีร้อยละของแข็งระหว่าง 2 – 6 % สารละลายเข้มข้นถูกทำให้แห้งในเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ความดัน 200 มิลลิเมตรปรอท แลคโตสถูกเติมลงในสารละลายในขั้นตอนการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแลคโตสต่อของแข็งในสารละลายที่น้อยที่สุดคือ 2:1 สำหรับงวดการอบที่ 55 °C ซึ่งมีการกวนตัวอย่างทุก 30 นาทีในระหว่างการอบ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีแอนโดรกราโฟไลด์โดยน้ำหนักเท่ากับ 4.4 % และมีความชื้นเท่ากับ 3.2 %

2.7.4. Soltani และคณะได้ศึกษาการสกัดพืชจากใบเสจซึ่งถูกใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ด้วยวิธีการวัดน้ำหนักที่สูญเสียไปและเทคนิค Potentiodynamic polarization ซึ่งเป็นการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกเพิ่มขึ้นเพื่อเร่งการกัดกร่อน หากเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมกระแสจะเพิ่มขึ้น เทคนิค Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) การศึกษา Tafel polarization แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากใบเสจแสดงพฤติกรรมเป็นตัวยับยั้งแบบผสม การดูดซับของตัวยับยั้งการกัดกร่อนบนพื้นผิวของเหล็กเป็นไปตามกฎการดูดซับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเคมีควอนตัมภายใต้ทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่นและวิธี Semi-empirical (จะใช้ประมาณค่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลบางส่วนจากการทดลองประกอบการคำนวณ) ถูกอธิบายในกระบวนการการดูดซับของสารสกัดบางชนิด [14]

2.8. การสกัด [21]

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (โดยการสกัดแบบเดิมนั้นจะขึ้นอยู่กับการเลือกตัวทำละลายที่ถูกต้อง การผสม (Mixing) การให้ความร้อน และการกวน) แบ่งได้ดังนี้

2.8.1.มาเซอเรชัน (Maceration)เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยการหมักสมุนไพรกับน้ำยาสกัดจนกระทั่งเนื้อเยื่อของสมุนไพรอ่อนนุ่มและน้ำยาสกัดสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมา

2.8.2. เพอร์โคเลชัน (Percolation)เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยการปล่อยให้น้ำยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรอย่างช้า ๆ พร้อมกับละลายเอาองค์ประกอบออกจากผงสมุนไพรออกมา

2.8.3. อินฟิวชัน (Infusion)เป็นการสกัดโดยการต้มกับน้ำเดือด

2.8.4. การสกัดด้วยน้ำมันที่เย็น หรือเอ็นเฟลอร์เรจ (Enfleurage) คือการสกัดโดยใช้ไขมันมักใช้กับดอกไม้กลีบบาง เช่นมะลิ ซ่อนกลิ่น โดยจะใช้ไขมันประเภทน้ำมันหมูเกลี่ยลงบนถาดไม้แล้วนำดอกไม้มาเกลี่ยทับเป็นชั้นบางๆ จนเต็มถาด ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนดอกไม้ ชุดใหม่ทำซ้ำประมาณ 7-10 ครั้ง ไขมันจะดูดซับสารหอมไว้หลังจากนั้นใช้เอทธานอลละลายสารหอมออกจากไขมัน นำไประเหยไล่ตัวละลายออกที่อุณหภูมิและความกดดันต่ำ จะได้หัวน้ำหอมชนิดคอนกรีต(concrete)เมื่อแยกส่วนที่เป็นไขมันออกโดยการนำมาละลายเอทธานอลแล้วแช่เย็นเพื่อแยกส่วนที่เป็นไขออก หลังจากระเหยไล่ตัวละลายออกจะได้หัวน้ำหอมชนิดไม่เจือปน(absolute)

2.9. เครื่องระเหยแห้ง (Evaporator) [22]

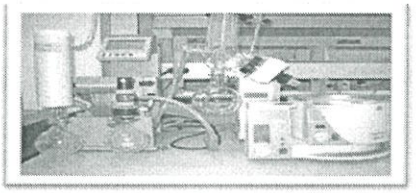
2.9.1. หลักการ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่ออกจากสารที่สนใจ ทำให้สารที่สนใจเข้มข้นขึ้น โดยตัวทำละลายที่ละลายสารที่สนใจจะถูกทำให้กลายเป็นไอ ด้วยระบบสูญญากาศจากปั๊ม(pump)และให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเพื่อทำให้การกลายเป็นไอง่ายขึ้น จากนั้นไอสารละลายจะผ่านเครื่องควบแน่น(condenser)ที่มีระบบหล่อเย็นทำให้ไอสารควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลลงขดลวดรองรับ (receiving flask)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2. ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเครื่อง

2.9.2.1. ส่วนให้ความร้อนและกลั่นแยกสาร (Rotary Evaporator)



รูปที่ 2.11 เครื่องระเหยแห้ง (Evaporator)

- เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่าง โดยกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่
- สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนได้
- มีอ่างให้ความร้อนที่สามารถใช้กับของเหลวที่เป็นน้ำหรือน้ำมัน ในกรณีน้ำช่วงที่เหมาะสมตั้งแต่ 20 °C ถึง 85 °C และใช้ได้ถึง 250 °C ในกรณีน้ำมัน

2.9.2.2. ส่วนทำสุญญากาศภายในระบบ

- เป็นส่วนทำสุญญากาศภายในระบบส่วนใหญ่เป็นแบบปั๊ม (Pump)สุญญากาศ
- เครื่องในปัจจุบันควบคุมความดันแบบอิเล็กทรอนิค สามารถควบคุมความดันได้ตั้งแต่ ความดันบรรยากาศ ถึง 0 mbar
- ระบบ condenser ชุดที่สอง จะทำให้เกิดการควบแน่นตัวทำละลายที่ระเหยผ่าน condenser ชุดที่หนึ่งออกมา

2.9.2.3. ส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในระบบ

- เป็นอ่างน้ำหมุนเวียนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
- ช่วงปรับอุณหภูมิที่เหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. กรดไฮโดรคลอริก

3.1.2. เมทานอล

3.1.3. เอทานอล 95%

3.1.4. น้ำกลั่น

3.2. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

3.2.1. เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

3.2.2. หอมหัวใหญ่

3.2.3. ฟ้าทะลายโจร

3.2.4. ดอกคำฝอย

3.2.5. เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)

3.2.6. ชุดกรองลดความดัน

3.2.7. ตู้อบสาร

3.2.8. เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat)

3.2.9. ชุดทดสอบการกัดกร่อน

3.2.10. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดคาโลเมลอิ่มตัว

3.2.11. กระดาษทราย หมายเลข 280 600 1200 และ 2000

3.2.12. เครื่องแก้ว

3.3. ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1. การสกัด

3.3.1.1. การสกัดสารจากหอมหัวใหญ่ [13]

- ชั่งหอมหัวใหญ่ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กจำนวน 50 กรัม
- แช่หอมหัวใหญ่ในเมทานอล 60% 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- กรองเพื่อแยกกากหอมหัวใหญ่ออกจากสารสกัดที่ได้
- นำไประเหยเมทานอลและน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- เก็บสารสกัดที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2. การสกัดสารจากฟ้าทะลายโจร [8]

- ชั่งฟ้าทะลายโจรจำนวน 5 กรัม แล้วนำไปห่อด้วยผ้าขาวบาง
- แช่ในเอทานอลปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- นำสารสกัดที่ได้ไประเหยเอทานอลและน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชา

3.3.1.3. การสกัดสารจากดอกคำฝอย [4]

- ชั่งดอกคำฝอย 5 กรัม แล้วนำไปห่อด้วยผ้าขาวบาง
- แช่ในเมทานอล 95% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- นำสารสกัดที่ได้ไประเหยเมทานอลและน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชา

3.3.2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2.1. การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์

- ชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จำนวณ 0.4927 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2.2. การเตรียมสารสกัด

- เตรียมสารสกัดเข้มข้น 10 mg/L โดยชั่งสารที่สกัดเก็บไว้จำนวน 10 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์
- ทำเช่นเดียวกันเพื่อเตรียมสารสกัดความเข้มข้น 30 และ 50 mg/L โดยชั่งสารสกัดมา 30 และ 50 มิลลิกรัม ตามลำดับ

3.3.2.3. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

- ตัดชิ้นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ขัดด้วยกระดาษทรายหมายเลข 280 600 1200 และ 2000 ตามลำดับ โดยใช้น้ำกลั่นช่วยในการขัด และทำความสะอาดชิ้นงานด้วยนำกลั่น
- ล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- แช่ชิ้นงานตัวอย่างในเอทานอล 95% ในเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

- เป่าชิ้นงานให้แห้ง

3.3.2.4. การเตรียมขั้วแพลทินัม

- ล้างขั้วแพลทินัมด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- แช่ในกรดไฮโดรคลอริก (1:1) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นขัดและล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- ล้างด้วยเอทานอล 95% อีกครั้ง แล้วเป่าให้แห้ง

3.3.3. วิธีการทดสอบการกัดกร่อน

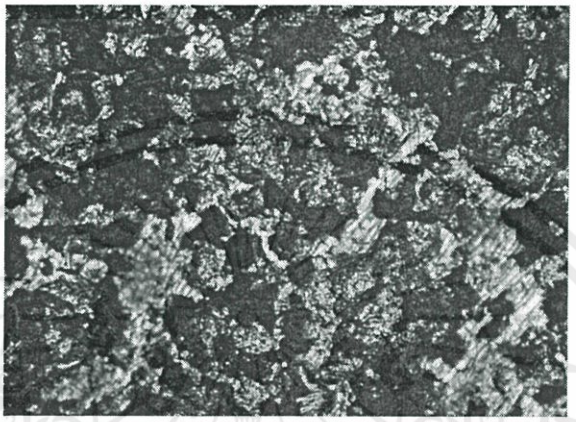
- ล้างชุดทดสอบการกัดกร่อนด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง แล้วกลั้วด้วยกรดที่เติมสารสกัดที่ต้องการทดสอบ
- เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องโพเทนชิโอสแตท เลือกโปรแกรมควบคุมกรอกข้อมูลพื้นที่ผิวของชิ้นงานตัวอย่าง เลือกสภาวะการทดสอบ ใช้อัตราเร็วในการปรับค่าศักย์ไฟฟ้า 600 mV/hr ปรับค่าศักย์ไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ –500 ถึง 1500 mV เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential)
- จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกัดกร่อน แล้วเติมสารสกัดที่เตรียมไว้และเริ่มพ่นก๊าซไนโตรเจน ลงในสารละลายก่อนการวัดเป็นเวลา 30 นาที
- ต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตทกับชุดทดสอบการกัดกร่อน
- ใส่ชิ้นงานตัวอย่าง ใส่ขั้วอ้างอิง และขั้วแพลทินัมลงในชุดทดสอบการกัดกร่อน
- เริ่มปรับค่าศักย์ไฟฟ้าและวัดค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อวัดเสร็จจึงทำการบันทึกข้อมูล
- หาค่า i_{corr} และ E_{corr} โดยการประมาณการนอกช่วงตามแบบทาเฟิล (Tafel extrapolation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

4.1.1. ก่อนขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย



รูปที่ 4.1 พื้นที่ผิวชิ้นงานก่อนขัดกระดาษทราย กำลังขยาย 100 เท่า

4.1.2. หลังขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

รูปที่ 4.2 พื้นที่ผิวชิ้นงานหลังขัดกระดาษทราย กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3. หลังทดสอบการกัดกร่อน

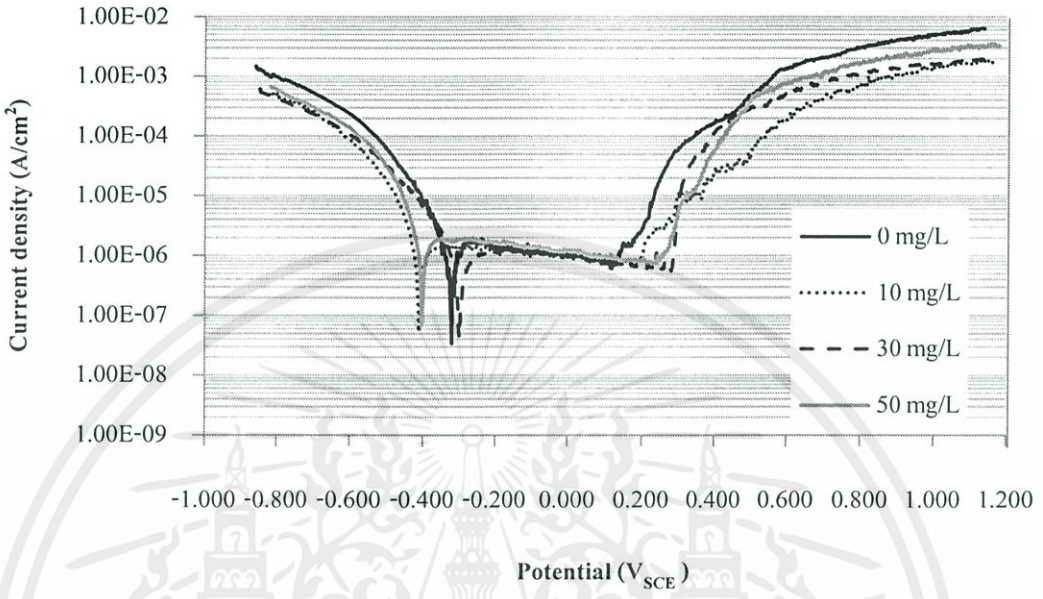
รูปที่ 4.3พื้นที่ผิวชิ้นงานหลังทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.005 โมลาร์โดยไม่เติมสารสกัด กำลังขยาย 100 เท่า

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความสว่างบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ไม่เท่ากันมีความขรุขระสูง ดังนั้นก่อนที่จะนำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มาใช้จึงต้องขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อปรับสภาพพื้นที่ผิวให้เรียบขึ้นและกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่เดิม แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่าความสว่างบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

รูปที่ 4.3 แสดงพื้นที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 หลังจากการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.005 โมลาร์ ที่ไม่เติมสารสกัดที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยค่าศักย์ไฟฟ้ามีสุดท้ายค่าสูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) ซึ่งชิ้นงานจะเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมอย่างชัดเจนและพบว่ามีหลุมกระจายอยู่ทั่วไปบนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากสารสกัดจากหอมหัวใหญ่



รูปที่ 4.4กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ความเข้มข้น 10 30และ50 mg/L

รูปที่ 4.4เป็นกราฟที่มาจากการใช้สารสกัดจากหอมหัวใหญ่เพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ พบว่า จากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304โดยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	E_{corr} (V_{SCE})	i_{corr} (A/cm^2)	E_{pit} (V_{SCE})
0	-0.323	1.00E-06	0.124
10	-0.410	7.07E-07	0.190
30	-0.298	4.35E-07	0.277
50	-0.402	1.00E-06	0.240

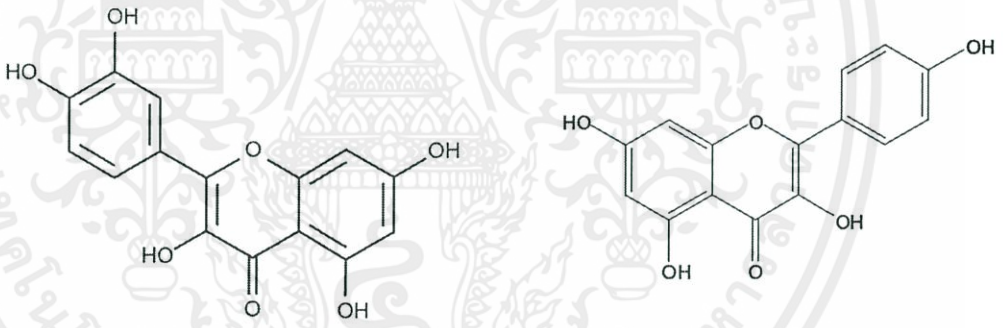
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.1 แสดงถึงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้-สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก โดยสามารถอธิบายได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) ซึ่งจากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่มีค่าเท่ากับ -0.323 V_{SCE} และเมื่อเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ลงไปในสารละลายที่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/Lตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่วัดได้มีการแกว่งตัวการแกว่งตัวของค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลาย และถ้าพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่มีอยู่ในหอมหัวใหญ่ในรูปที่ 4.5 จะพบว่าสารสกัดดังกล่าวนั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายโดยรวมเปลี่ยนแปลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นการพิจารณาในเชิงอุณหพลศาสตร์ อันจะบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งในที่นี้คือ ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดไฮโดรคลอริก อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนนั้นไม่จำเป็นจะต้องแปรผันตามความสามารถในการออกซิไดซ์เสมอไป เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) นั้นเมื่อเราเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าหรือเพิ่มความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลาย เหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีโครเมียมเจืออยู่ในปริมาณมากกว่า 12% จะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวได้ผลิตภัณฑ์เป็นชั้นของสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ($FeO{\cdot}Cr_2O_3$) ชั้นที่แน่นและเสถียรนี้จะทำหน้าที่ป้องกันโลหะด้านในจากการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอและส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง เมื่อชั้นออกไซด์มีความสมบูรณ์มากขึ้น [11]จะเห็นได้จากกรณีที่ความเข้มข้นของสารสกัดมีค่า30 mg/L พบว่าอัตราเร็วในการเกิดการกัดกร่อนจะมีค่าลดลงได้แม้ว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไรก็ตามจากข้อมูลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ จะพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, i_{corr}) ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชันในรูปที่ 4.1 นั้นเป็นที่แน่ชัดว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน (Passive layer) เนื่องจากค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทางด้านแอโนดมีแนวโน้มลดลงและต่ำกว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน การที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ลงไปแสดงให้เห็นว่าชั้นป้องกันของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304สามารถป้องกันการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอได้เป็นอย่างดีไม่ว่าจะมีหรือไม่มีสารสกัดจากหอมหัวใหญ่

ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากหอมหัวใหญ่นี้ประกอบด้วยสารจำพวก flavoncsดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนหลายตำแหน่งทั้งนี้อิเล็กตรอนคู่อิสระในโครงสร้างสามารถทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวหน้าของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นชั้นของสารอินทรีย์เคลือบอยู่บนผิวของโลหะเหล็กกล้า-ไร้สนิมอีกชั้นหนึ่งทำให้การสัมผัสของชั้นป้องกันกับสารละลายลดลงด้วยขนาดที่ใหญ่ของโมเลกุลของสารดังกล่าวจึงเป็นไปได้ว่าการดูดซับนี้ทำให้เกิดการบดบังพื้นที่ผิวของโลหะทำให้สารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเข้าทำลายชั้นป้องกันได้น้อยลง ซึ่งส่งผลให้โอกาสในการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมลดลงด้วย32และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่มากขึ้นประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมดังกล่าวข้างต้นจะเพิ่มมากขึ้นด้วยเนื่องจากสัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกปกคลุมโดยสารสกัดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.5 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ [23,24]

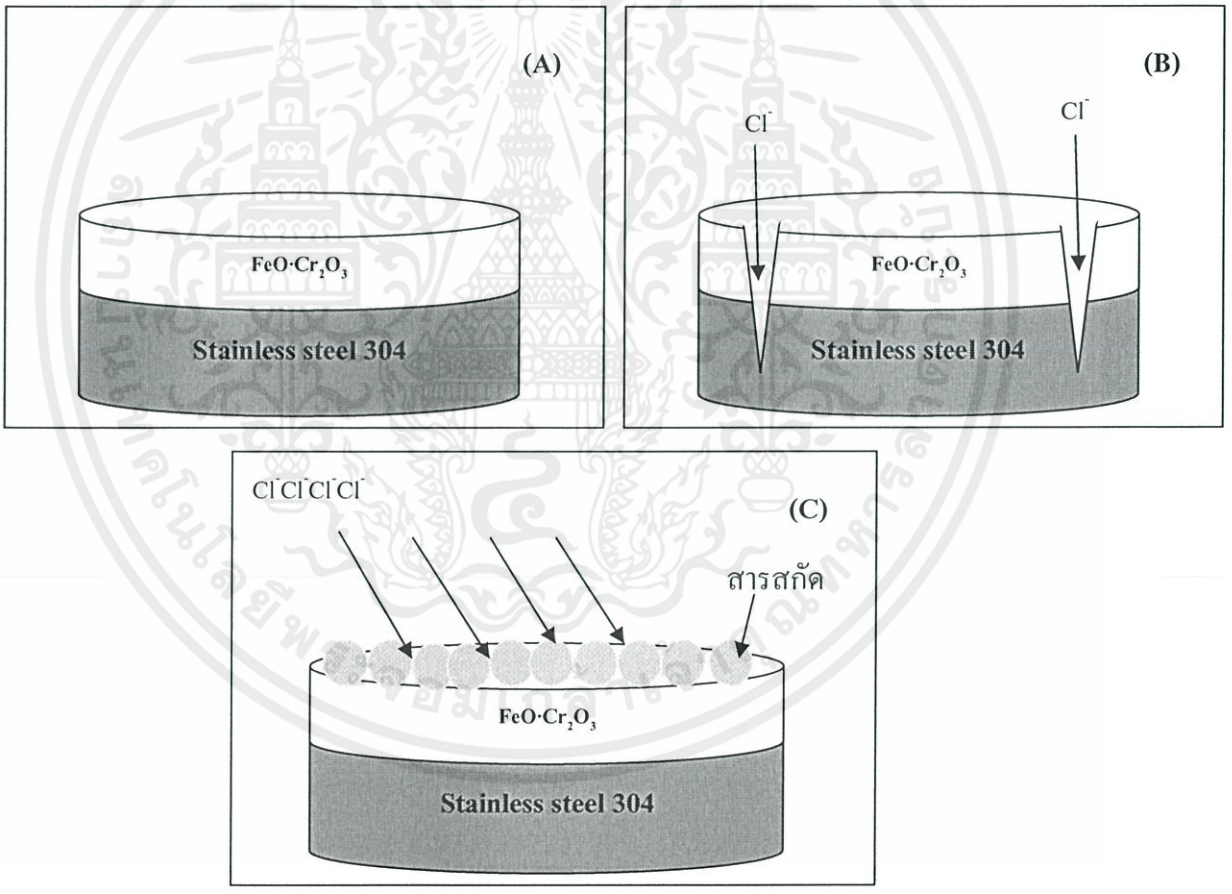
โดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบหลุมเกิดขึ้นเมื่อโลหะอยู่ในสารละลายที่มีคลอไรด์ไอออนและที่ผิวโลหะเกิดความต่างศักย์แสดงตัวเป็นบริเวณแอโนดและแคโทดเล็กๆ ขึ้น โดยบริเวณแอโนดจะถูกกัดกร่อนไปจนเกิดเป็นหลุมได้มากขึ้นโดยโลหะภายในหลุมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้โลหะไอออนออกมาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปฏิกิริยารีดักชันเกิดบนผิวโลหะ [1]

ปฏิกิริยาที่อธิบายกลไกของการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม อาจแสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Me^{2+} + 2Cl^{-} + 2H_2O \longrightarrow Me(OH)_2 + 2HCl$$

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304จะสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ($FeO{\cdot}Cr_2O_3$) ขึ้นได้เองตามธรรมชาติในสภาพบรรยากาศทั่วไป ซึ่งสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้แสดงดังรูปที่ 4.6 (A) แต่เมื่อความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายเพิ่มมากขึ้นชั้นป้องกันนี้จะถูกทำลายโดยความช่วยเหลือของคลอไรด์ไอออน ทำให้เนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมได้ แสดงดังรูปที่ 4.6 (B) แต่เมื่อเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ โมเลกุลของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่จะไปดูดซับที่ผิวหน้าของโลหะบนชั้นป้องกันตามธรรมชาติซึ่งส่งผลให้สารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเข้าไปทำลายชั้นออกไซด์ของเหล็กและโครเมียมได้น้อยลง ดังแสดงดังรูปที่ 4.6 (C) ส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าสารสกัดจากหอมหัวใหญ่สามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมให้กับเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304ได้



รูปที่ 4.6 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่
(A) ชั้นป้องกันตามธรรมชาติ (B) การทำลายชั้นป้องกัน (C) การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุม

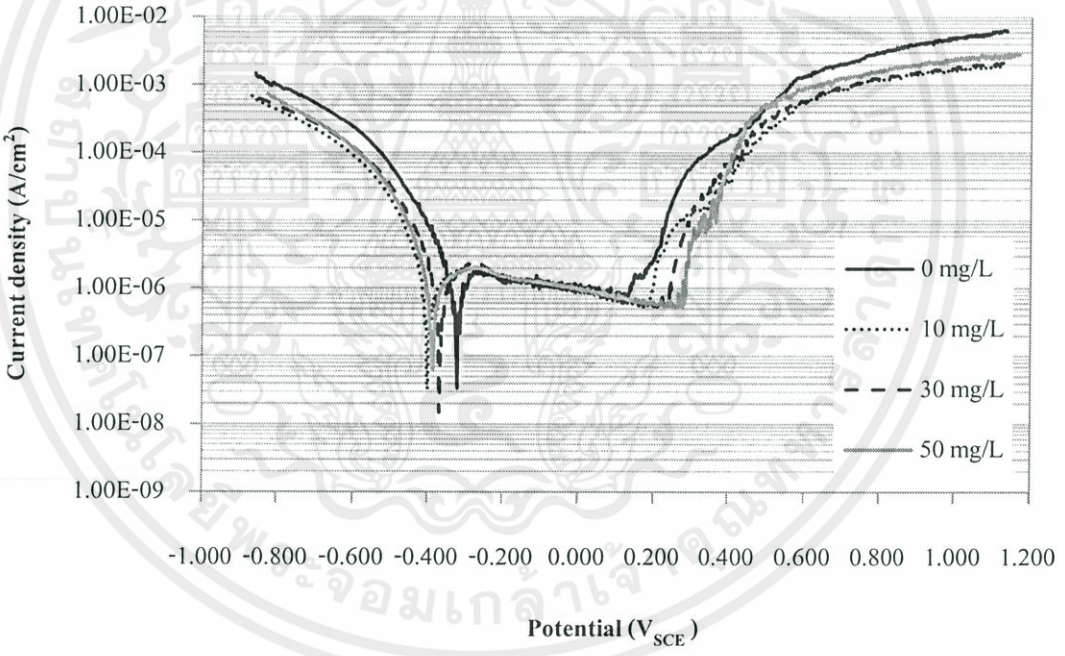
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำงานของสารยับยั้งกัดกร่อนในกรด สันนิษฐานว่าจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับบนพื้นผิวของโลหะ การดูดซับของสารอินทรีย์ถือได้ว่าเป็นกระบวนการดูดซับแทนที่ระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์และโมเลกุลของน้ำในสารละลายบนผิวโลหะ ดังสมการ[12]

$$Org_{(sol)} + xH_2O_{(ads)} \longleftrightarrow Org_{(ads)} + xH_2O$$

โดยกระบวนการดูดซับสามารถเข้าใจได้โดยใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ [14] เช่น การศึกษาการสกัดพืชจากใบเสจ ซึ่งถูกใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ กล่าวว่าโครงสร้างของสารสกัดจากใบเสจมีองค์ประกอบหลักที่มีกลุ่มไฮดรอกซิล อะตอมออกซิเจนและวงแหวนอะโรมาติก จำนวนมาก ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระมากสามารถทำการดูดซับกับผิวของโลหะได้จริงตามสันนิษฐานที่กล่าวไว้ในตอนต้น

4.3การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304จากสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร



รูปที่ 4.7กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L

รูปที่ 4.7เป็นกราฟที่มาจากการใช้สารสกัดจากฟ้าทะลายโจรเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ พบว่าจากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) ได้ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ฝากไฟล์เอกสารนี้ไว้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ตารางที่ 4.2ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304โดยสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร

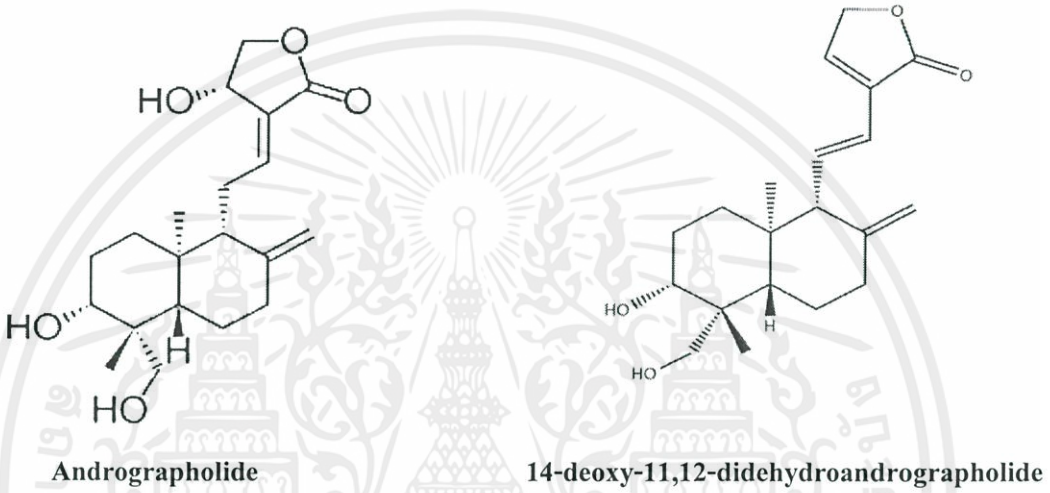
ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	E_{corr} (V_{SCE})	i_{corr} (A/cm^2)	E_{pit} (V_{SCE})
0	-0.323	1.00E-06	0.124
10	-0.399	9.50E-07	0.178
30	-0.367	8.59E-07	0.233
50	-0.387	8.40E-07	0.272

ข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.2นำเสนอผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้-สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกโดยที่ค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรมีค่าต่างกัน ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) จากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรมีค่าเท่ากับ -0.323 V_{SCE} และเมื่อเติมสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรลงไปในสารละลายที่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L ตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่วัดได้เกิดการแกว่งตัวเล็กน้อยในช่วงแคบ ๆ และถ้าพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่มีอยู่ในฟ้าทะลายโจรในรูปที่ 4.8 จะพบว่าสารสกัดดังกล่าวนั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายโดยรวมเปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นการพิจารณาในเชิงอุณหพลศาสตร์ อันจะบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนนั้นไม่จำเป็นจะต้องแปรผันตามความสามารถในการออกซิไดซ์เสมอไป ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับการอธิบายเรื่องกรณีเหล็กกล้าไร้สนิมในตอนต้น จากข้อมูลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร จะพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, i_{corr}) ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชันในรูปที่ 4.7นั้นแสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน (Passive layer) และชั้นป้องกันนี้สามารถป้องกันการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะมีสารสกัดอยู่ในสารละลายด้วยหรือไม่ก็ตาม

ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรนี้ประกอบด้วยสารในกลุ่ม diterpeniod lactone ซึ่งเป็นสารสำคัญในกลุ่มflavones ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนหลายตำแหน่งทั้งนี้อิเล็กตรอนคู่อิสระในโครงสร้างสามารถทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวหน้าของชั้นป้องกันของเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นชั้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง ... ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของเอกสารนี้ ... ไม่ว่าจะเพื่อการค้า

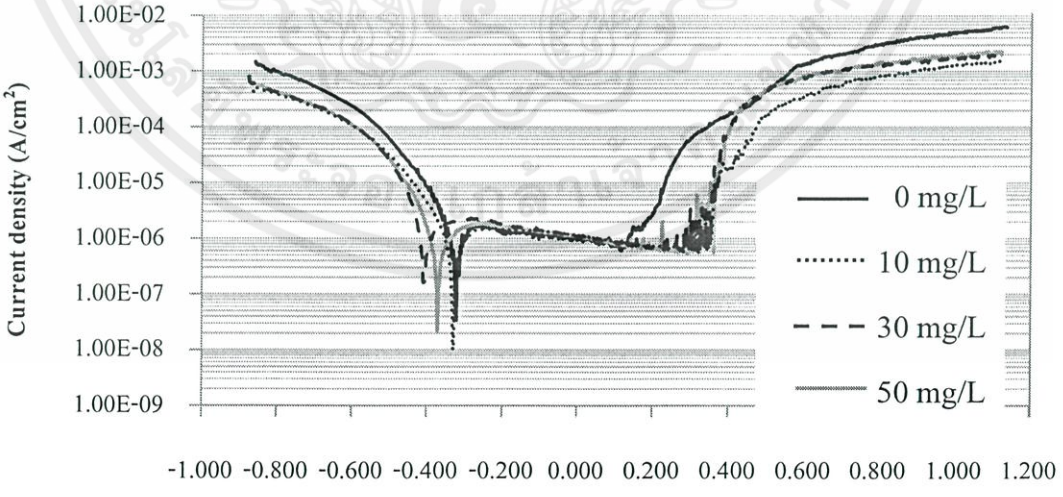
สารอินทรีย์เคลือบอยู่บนผิวของชั้นป้องกันอีกชั้นหนึ่งทำให้การสัมผัสของผิวโลหะกับสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนลดลงและด้วยขนาดที่ใหญ่ของโมเลกุลของสารดังกล่าว จึงเป็นไปได้ว่าการดูดซับนี้ทำให้เกิดการบดบังพื้นที่ผิวของโลหะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมลดน้อยลงตามมา และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากฟ้าทะลายโจรมากขึ้นประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมดังกล่าวข้างต้นจะเพิ่มมากขึ้นด้วยเนื่องจากสัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกปกคลุมโดยสารสกัดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



Andrographolide **14-deoxy-11,12-didehydroandrographolide**

รูปที่ 4.8 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร [25,26]

4.4 การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากสารสกัดจากดอกคำฝอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากดอกคำฝอยความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L

รูปที่ 4.9 เป็นกราฟที่มาจากการใช้สารสกัดจากดอกคำฝอยเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ พบว่าจากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) ได้ดังตารางที่ 4.3

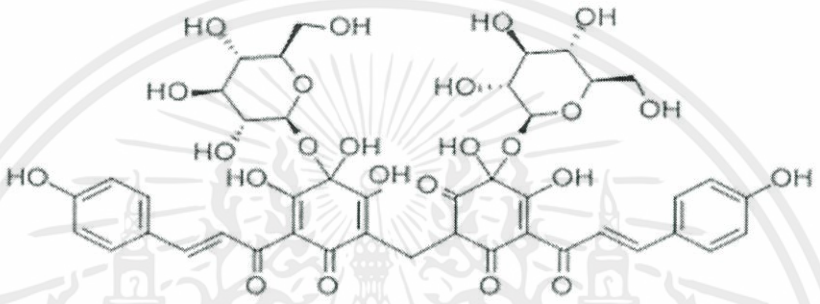
ตารางที่ 4.3ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304โดยสารสกัดจากดอกคำฝอย

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	E_{corr} (V_{SCE})	i_{corr} (A/cm^2)	E_{pit} (V_{SCE})
0	-0.323	1.00E-06	0.124
10	-0.328	5.83E-07	0.277
30	-0.406	1.17E-06	0.277
50	-0.370	6.15E-06	0.287

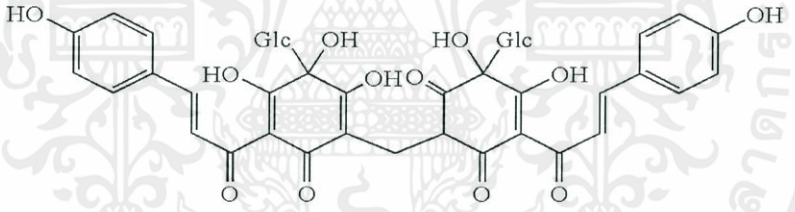
ข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้-สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก โดยที่ค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกคำฝอยมีค่าต่างกัน ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) จากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดจากดอกคำฝอยมีค่าเท่ากับ -0.323 V_{SCE} และเมื่อเติมสารสกัดจากดอกคำฝอยลงไปในสารละลายที่ความเข้มข้น 10 30 และ 50 mg/L ตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่วัดได้เกิดการแกว่งตัวเล็กน้อย และถ้าพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่มีอยู่ในดอกคำฝอยในรูปที่ 4.10 จะพบว่าสารสกัดดังกล่าวนั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายโดยรวมเปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่และฟ้าทะลายโจร จากข้อมูลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกคำฝอย จะพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, i_{corr}) มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมากและจากกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซ-ชันในรูปที่ 4.9ซึ่งแสดงว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน (Passive layer) จึงสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลการทดลองที่พบในหอมหัวใหญ่และฟ้าทะลายโจรว่าชั้นป้องกันตามธรรมชาติของเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถป้องกันการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอได้ดีอยู่แล้วโดยไม่ต้องอาศัยสารสกัดจากดอกคำฝอยแต่อย่างใด

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณี ...

ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมที่มีค่ามากขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากดอกคำฝอยนี้ประกอบด้วยสารในกลุ่ม flavoniods ดังแสดงในรูปที่ 4.10ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนหลายตำแหน่งทั้งนี้อิเล็กตรอนคู่อิสระในโครงสร้างสามารถทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวหน้าของชั้นป้องกันของเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นชั้นของสารอินทรีย์เคลือบอยู่บนผิวของชั้นป้องกันอีกชั้นหนึ่งและช่วยยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมในทำนองเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อของหอมหัวใหญ่และฟ้าทะลายโจร



Safflower yellow

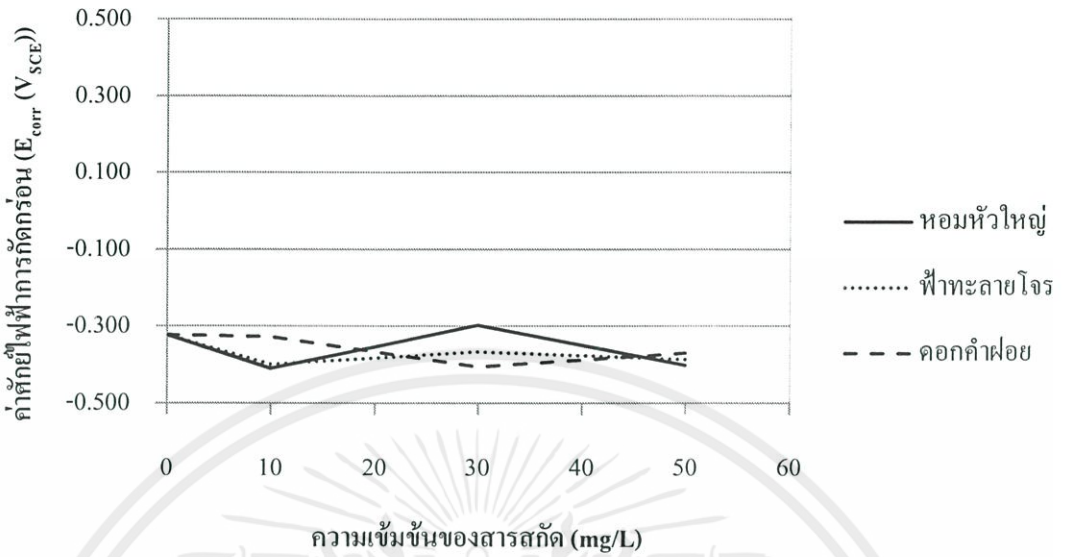


Carthamin

รูปที่ 4.10โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากดอกคำฝอย[27,28]

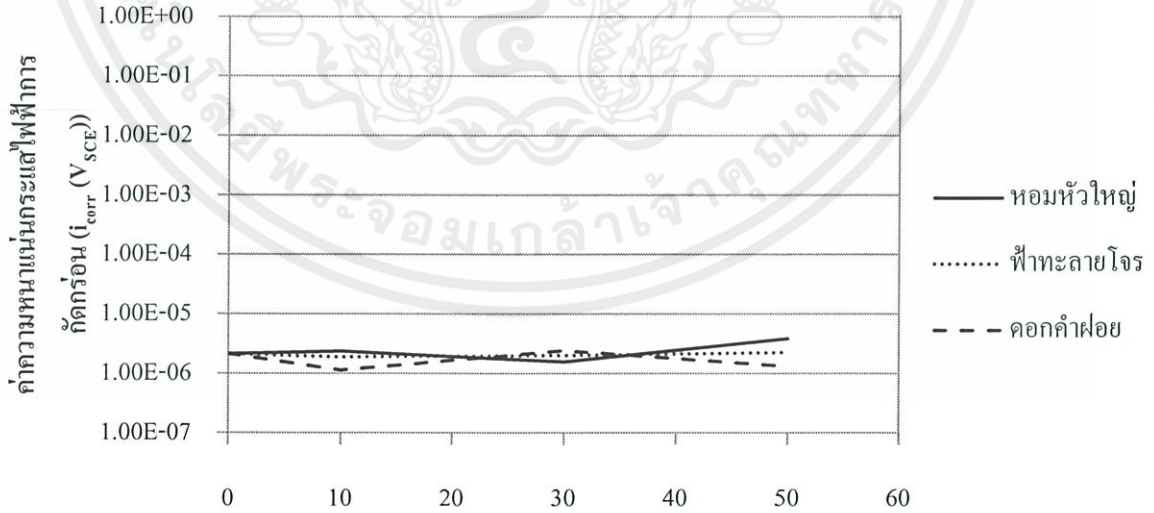
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เปรียบเทียบแนวโน้มของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน(E_{corr}) กับความเข้มข้นของสารสกัด

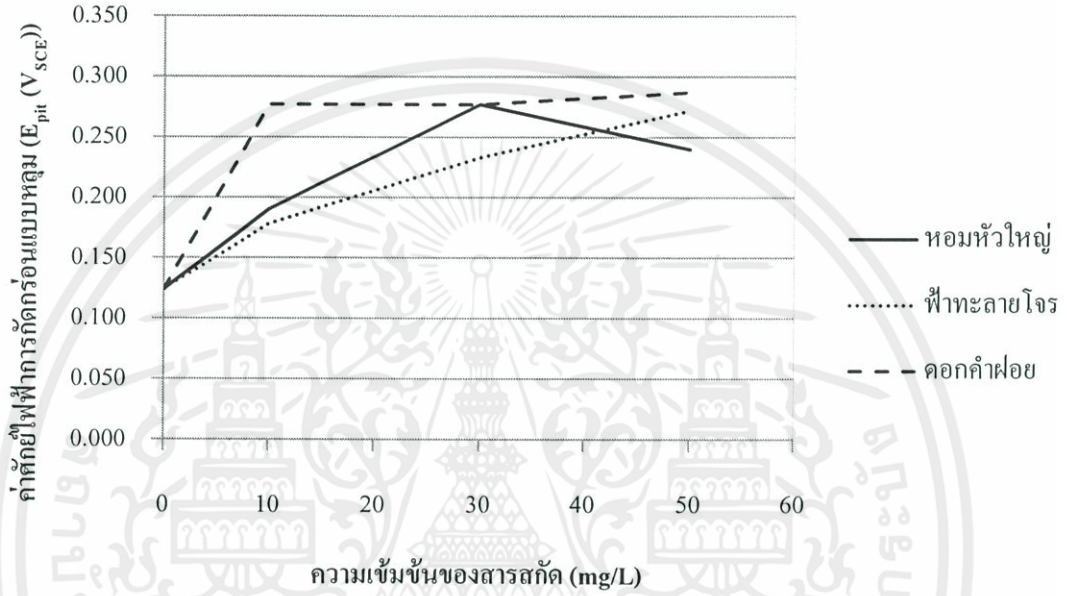
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัด พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่เติมสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร ดอกคำฝอย และหอมหัวใหญ่ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและแกว่งตัวอยู่ในช่วงแคบ ๆ ประมาณ 0.100 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน(i_{corr}) กับความเข้มข้นของสารสกัด

รูปที่4.12 แสดงการเปรียบเทียบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัด พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ความเข้มข้นของสารสกัดค่าต่างๆ มีค่าแตกต่างกันน้อยมากและทั้งหมดมีค่าน้อยมากอยู่ที่ระดับ 10^{-6} A/cm^{2}แสดงว่าการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.13การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit})กับความเข้มข้นของสารสกัด

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมกับความเข้มข้นของสารสกัด พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้นข้นของสารสกัดของสารสกัด แสดงว่าสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย มีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานการกัด-กร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย

ตารางที่ 4.4ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	ค่า pH ของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่	ค่า pH ของสารสกัดจากฟ้าทะลายโจร	ค่า pH ของสารสกัดจากดอกคำฝอย
0	2.36	2.36	2.36
10	2.38	2.34	2.36
30	2.38	2.34	2.36
50	2.38	2.34	2.36

จากตารางที่ 4.4จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจรและดอกคำฝอย มีผลต่อค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005โมลาร์ที่ความละเอียดระดับ ± 0.01 น้อยมาก แสดงว่าการเติมสารสกัดลงไปไม่มีผลต่อค่า pH ของสารละลายอย่างมีนัยสำคัญจึงไม่มีปัจจัยในการที่ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนลดลงเข้ามาส่งผลต่อการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้-สนิมชนิด 304 นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดที่เติมลงไปนั้นไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาการสะเทินของกรด-เบสการที่ค่า pH ของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญสนับสนุนให้เห็นว่าการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการดูดซับบนพื้นผิวของโลหะทำให้ผิวหน้าของวัสดุสัมผัสกับสารละลายได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ด้วยสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) มีค่าต่ำและแกว่งตัวในช่วงใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นของสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย

2. สารสกัดจากหอมหัวใหญ่ ฟ้าทะลายโจร และดอกคำฝอย มีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดมากขึ้น พบว่าความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาความต้านทานของชั้นป้องกันที่เกิดจากสารสกัดและส่งผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งอาจทำได้โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคอิเล็กโตรเคมมิคอลอิมพีแดนซ์สเปกโตรสโกปี (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กัญจนา ตระกูลดู. **เทคโนโลยีการกัดกร่อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ : กราฟแมนเพรส, 2530

[2] ชวลิต เชียงกูล. **โลหะวิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ส.ท.ท.), 2547

[3] บริษัท ไทนน๊อค สเตนเลส จำกัด (มหาชน). **Endless Stainless.** กรุงเทพฯ: คอร์ปอเรชันโฟร์ดี, 2551

[4] พงศธร กล่อมสกุล และคณะ. **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุ สารประกอบฟีนอล และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชสมุนไพรบางชนิด.** กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, 2555

[5] พรศักดิ์ อรรถวานิช. **โลหการวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:แผนกตารา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546

[6] มนัส สถิรจินดา. **เหล็กกล้า.** กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549

[7] ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์. **การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545

[8] สุรพจน์ วงศ์ใหญ่. **การผลิตสารสกัดฟ้าทะลายโจรในระดับก่อนโรงงานต้นแบบ.** กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต, 2549

[9] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. **การวิเคราะห์ความเสียหายทางโลหการ.** พิมพ์ครั้งที่ 1 .กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[10] หนึ่งหทัย คงอินทร์ อทิตยา จันเสนา และอัจฉราภรณ์ ใจปราณี. **ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพญายอ.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 15, (2553)

[11] Lo, K. H., Shek, C. H., Lai, J. K. L. (2009). **Recent developments in stainless steels.** Materials Science and Engineering, 65(4-6), 39-104.

[12] M. Behpour, S.M. Ghoreishi, A. Gandomi-Niasar, N. Soltani, M. Salavati-Niasari, J. **A Novel Hydrazinecarbothioamide as a Potential Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl** Mater. Sci. 44 (2009) 2444–2453.

[13] Malene Søltoft, Jan H. Christensen, John Nielsen, Pia Knuthsen. **Pressurised liquid extraction of flavonoids in onions. Method development and validation**. Talanta. Volume 80, Issue 1, 15 November 2009, 269–278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Nasrin Soltani, Nahid Tavakkoli, Maryam Khayatkashani, Mohammad Reza Jalali, Ahmad Mosavizade. **Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in Hydrochloric acid solution by the extract of Salvia officinalis leaves.** Corrosion Science, Volume 62, September 2012, Pages 122-135

[15] มหาวิทยาลัยมหิดล .**"ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์"**.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/electrode potential.htm.

[16] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. **"การกัดกร่อน"**.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.kmitl.ac.th/~kssutha

[17] "หอมหัวใหญ่". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.adirek.com/stwork/fruitvet/hom.htm

[18] "ประโยชน์ของหอมหัวใหญ่". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.elib-online.com/doctors49/herb_allium001.html

[19] "ฟ้าทะลายโจร" [ออนไลน์]. 25 มกราคม 2557. เข้าถึงจาก: http://www.cri.or.th/en/20090729.php

[20] "ดอกคำฝอย" [ออนไลน์]. 25 มกราคม 2557. เข้าถึงจาก: http://nstfood.com/NSTF/Product

[21] "การสกัด". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.gpo.or.th/rdi/html/Ultrasound.html

[22] "Rotary evaporator". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.scilution.com

[23] "Quercetin" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://chemistry.about.com/od/factsstructures/ig/Chemical-Structures---Q/Quercetin.htm

[24] "Kaempferol" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://jpet.aspetjournals.org/content/337/3/747/F1.expansion.html

[25] "Andrographolide" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Andrographolide

[26] "14-deoxy-11,12-didehydroandrographolide" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.cfmot.de/en/14-deoxy-11-14-didehydroandrographolid-3635.html

[27] "Safflower yellow" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7318267.htm

[28] "Carthamin" . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.google.com/patents/US8158183

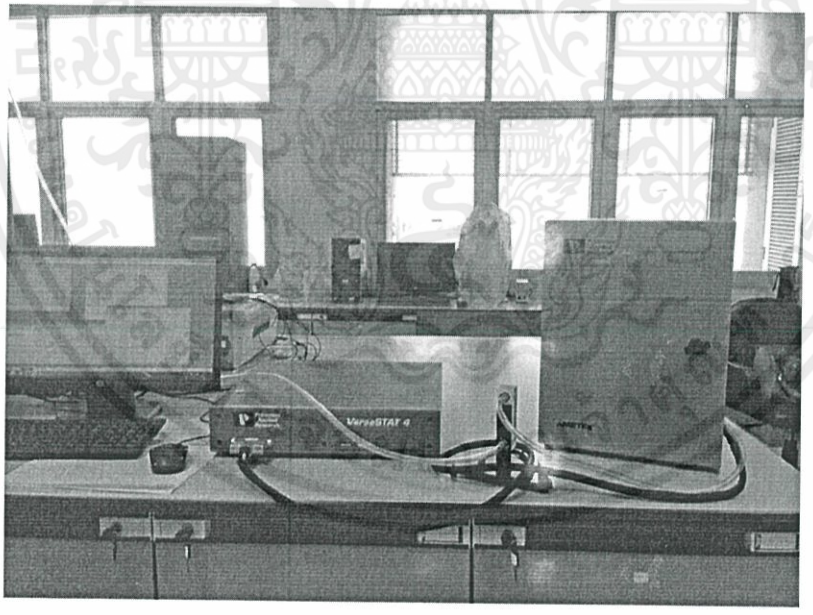
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

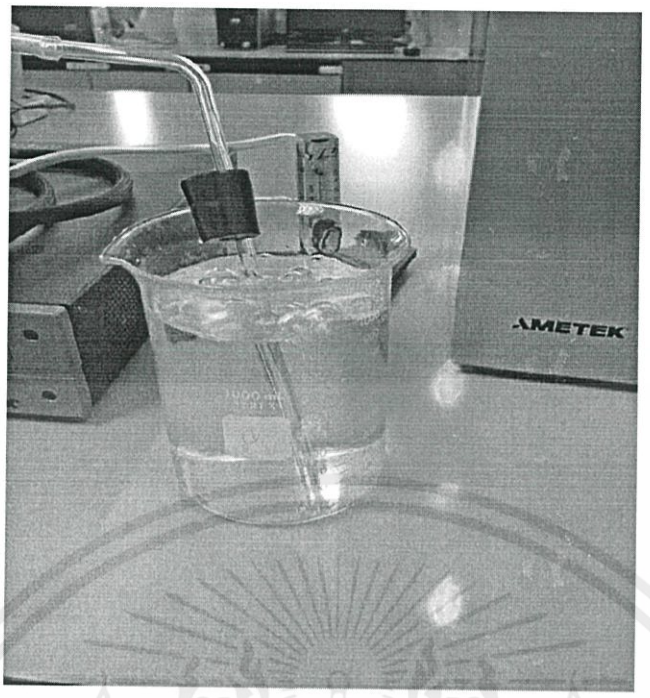
รูปภาพประกอบการทดลอง

รูปที่ 1 เครื่องระเหยแบบหมุน

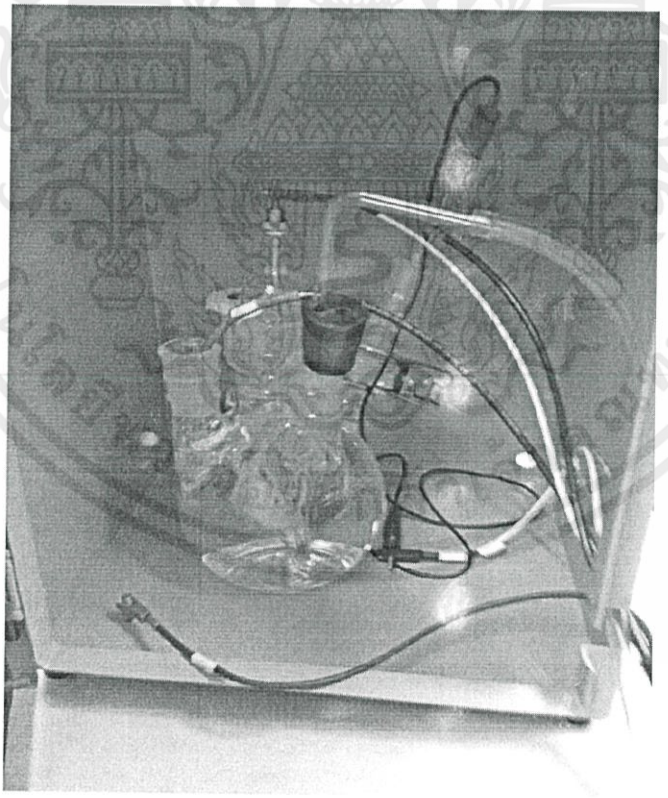


รูปที่ 2 เครื่องโพเทนชิโอสแตทและตู้ฟาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การพ่นก๊าซไนโตรเจนในสารละลายก่อนการวัดการกัดกร่อน



รูปที่ 5 การต่อเซลล์การกัดกร่อนในตู้ฟาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้